

## **Nota Conceptual**

# **Deep Decarbonization Latin America Project -Argentina -**

*Mayo 2022*

**“Uso de Inhibidores de la Volatilización  
de Urea en Cultivos agrícolas en la  
región Mar y Sierras, sudeste de Buenos  
Aires”**

**Nota Conceptual**

**Indicador II.1 – Versión revisada**

# Índice

<b>I.</b>	<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>4</b>
<b>II.</b>	<b>Información acerca de la oportunidad de inversión</b>	<b>6</b>
1.	Contexto y línea de base.....	6
2.	Descripción de la oportunidad.....	11
3.	Necesidades de inversión .....	14
4.	Resultados esperados.....	16
	Anexo 1 – Modelo AMG de Balance de Carbono en suelo...	21
	Anexo 2 – Análisis de 6 rotaciones agrícolas .....	23

# I. Resumen ejecutivo

Nombre de la oportunidad de inversión	Uso de Inhibidores de la Volatilización de Urea en Cultivos agrícolas en la región Mar y Sierras, sudeste de Buenos Aires, Argentina		
Fase	1. <b>Desarrollo del concepto</b> ; 2. <i>Fase de prefactibilidad</i> ; 3. <i>Fase de factibilidad</i> ; 4. <i>Aseguramiento de la financiación</i> ; 5. <i>Cierre financiero/ejecución del proyecto</i> ; 6. <i>Cierre del proyecto/refinanciación</i>		
Escala	1.100.000. hectáreas (zona Mar y Sierras: Balcarce, Lobería, Necochea y Tandil)		
Finalización de programa	Por campaña/añual		
Impacto de mitigación estimado (tCO <sub>2</sub> e)	La adopción de esta práctica permitiría una reducción de emisiones en cultivos agrícolas del 5 al 6% respecto del uso de la urea común. En el caso analizado esto implica una reducción promedio de 0.126 tnCO <sub>2</sub> e/ha/año. Si se extiende esta práctica a la totalidad de los productores de esta región significaría una reducción total anual de 138.600 tnCO <sub>2</sub> e/año, o bien 0.13 MtCO <sub>2</sub> e/año.		
Costo total indicativo	Costo del uso: 50 USD por tonelada de urea aplicada de esta tecnología para un agricultor promedio. Costo estimado: 84 usd/tnCO <sub>2</sub> e reducida <sup>1</sup> . Inversión: 5,5 millones de dólares por campaña/año para la región de mar y sierras	Tipo de instrumento financiero requerido	<input type="checkbox"/> Donación <input type="checkbox"/> Garantías <input type="checkbox"/> Equity <input type="checkbox"/> Préstamo concesional <input type="checkbox"/> Préstamo <input checked="" type="checkbox"/> Subsidio - desgravación impositiva <input type="checkbox"/> Creación o desarrollo de mercado <input checked="" type="checkbox"/> Otro:
		Instrumento de política requerido	- Programas de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) que premien su utilización
Justificación, objetivos y enfoque del proyecto	<p>En las últimas décadas, el progreso genético, el avance de la siembra directa y otras tecnologías en agricultura han generado un incremento constante de los rendimientos de los cultivos. Este aumento de la productividad ha sido acompañado por un consumo creciente de fertilizantes. Esta misma tendencia se prevé se mantenga en los próximos años, lo cual implicaría un incremento del uso de fertilizantes nitrogenados, los cuales son fuente de emisiones de GEI.</p> <p>En Argentina, las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O "por volatilización de urea" representan alrededor del 1.1 % de las emisiones del sector AFOLU y el 0.4 % del</p>		

<sup>1</sup> Si bien el costo de abatimiento es elevado, para el productor agropecuario el costo es marginal, mejorando además la eficiencia en la producción, dado que se reduce el costo por tonelada producida al requerir menor cantidad de fertilizantes. Por lo tanto, la implementación de esta medida da lugar a un "beneficio neto" por tonelada de CO<sub>2</sub> evitada.

total nacional. Estas emisiones pueden reducirse sustantivamente mediante el uso de inhibidores de la acción de la ureasa.

El objetivo del presente análisis es modelar el impulso a la adopción de la urea con inhibidores de la volatilización (Urea NBPT) por parte de productores agrícolas de la región Mar y Sierras, al sudeste de Buenos Aires, un caso demostrativo de su potencial aplicación a gran escala. El uso de urea "tratada" con inhibidores de la volatilización, permite reducir a valores del 1 al 3% la volatilización de este fertilizante nitrogenado. El costo adicional de la Urea NBPT respecto a la urea común, es del orden de los 50 USD/tn, lo cual representa alrededor de un 10% adicional del costo histórico promedio del fertilizante tradicional, siendo su beneficio igual o mayor, ya que compensa pérdidas por volatilización que van del 10% hasta el 40% en cultivos de verano en nuestro país, según datos de la literatura.

En este sentido, la inversión considerada se enmarca en algunos proyectos de ley de promoción del uso de fertilizantes con mecanismos de desgravación del impuesto a las ganancias, aunque aún no han logrado su tratamiento en el Congreso de la Nación, lo que permitiría el uso de esta tecnología de manera extensiva. Para su materialización se requiere, adicionalmente, de su introducción en las "Buenas Prácticas Agrícolas" (BPA) lo cual constituye una cuestión de difusión, transversal a todas las cadenas de valor del sector agropecuario, de manera de dar a conocer los beneficios del uso de esta tecnología.

Esta práctica es costo eficiente en términos de emisiones, ya que permite aumentar los rendimientos mediante el uso de fertilizantes, sin generar un aumento proporcional de las emisiones. Se trata de una tecnología de simple adopción y puede escalar a nivel nacional a la gran mayoría de los establecimientos agrícolas.

Promover la introducción de esta práctica agrícola tiene como objetivo estratégico contribuir a la seguridad alimentaria, haciendo posible la producción de alimentos a la vez que se reducen las emisiones de GEI y se aumenta la eficiencia de los insumos utilizados, mejora la economía de los sistemas productivos y disminuye la huella ambiental de la producción.

Dado que la opción tecnológica está disponible, es una oportunidad de inversión que combina la decisión privada y la participación pública en la difusión de una práctica económica y ambientalmente eficiente mediante la utilización de incentivos para el uso masivo de la tecnología y el aprovechamiento de las capacidades estatales para la difusión, la capacitación cuando aplica, y la disseminación de información para la toma de decisión.

## II. Información acerca de la oportunidad de inversión

### 1. Contexto y línea de base

Según el Cuarto Reporte Bienal de GEI de la República Argentina (BUR4, 2021)<sup>2</sup>, el sector AFOLU representó el 39% (143.195 GgCo<sub>2e</sub>) de las emisiones totales de la República Argentina. Este sector abarca las emisiones y capturas provenientes de diversos usos, y cambios de uso de la tierra (cultivos, tierras de pastoreo, bosques y plantaciones forestales), como también las emisiones propias de la ganadería (por fermentación entérica y excretas).

En las últimas décadas, la superficie ocupada en Argentina por cultivos agrícolas tuvo un crecimiento muy significativo, pues evolucionó desde 20 millones de hectáreas a comienzos de la década del '90 hasta llegar a 35 millones de hectáreas en la actualidad (Censo Nacional Agropecuario -CNA-, 2018)<sup>3</sup>.

A partir de 1990 el aumento del área de cultivos de granos fue acompañado por la adopción creciente de la siembra directa y desde entonces comienza a extenderse aceleradamente el uso de fertilizantes.

Los tres nutrientes principales utilizados para la producción de fertilizantes a nivel mundial son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). En base a estos nutrientes se desarrollan el conjunto de los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos respectivamente, que pueden incluir además otros nutrientes (CIAFA, 2020).<sup>4</sup>

El mayor consumo de fertilizantes nitrogenados se concentra en los cereales (gramíneas) de invierno (trigo, cebada, avena, centeno) y de verano (maíz y sorgo). En los últimos 3 años los cereales ocuparon en promedio el 45% del área sembrada en el país, mientras las oleaginosas (soja, girasol, poroto y otras) cubren un 55%.

<sup>2</sup> MAyDS. 2022. Informe Nacional de Inventario del Cuarto Informe Bienal de Actualización de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).

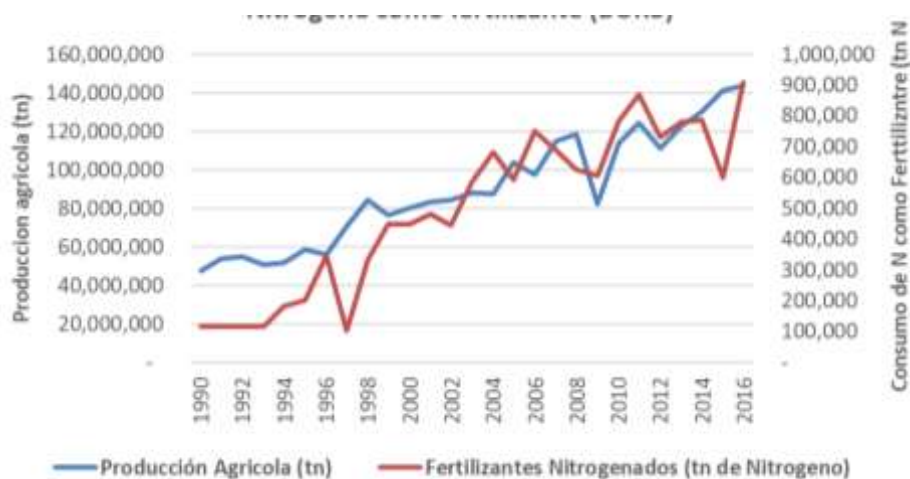
<sup>3</sup> Instituto Nacional de Estadística y Censos - I.N.D.E.C. 2021. Censo Nacional Agropecuario 2018 : resultados definitivos / 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC, 2021. Libro digital, PDF ISBN 978-950-896-607-0 . Archivo Digital: descarga y online [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf)

<sup>4</sup> CIAFA - Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos, 2020. Consumo de fertilizantes en el Agro 2020. <https://www.ciafa.org.ar/info-fertilizantes-informes>

Según un informe reciente de la Bolsa de Cereales de Rosario<sup>5</sup>, al año 2020 en Argentina se consumieron 5,3 Mt de fertilizantes. El 54% fueron nitrogenados (urea, nitrato de amonio calcáreo) y el 36% fosforados (fosfato monoamónico y fosfato diamónico, más conocidos como MAP y DAP).

El incremento productivo registrado en las últimas décadas en el país ha tenido una relación estrecha con la adopción de fertilizantes nitrogenados. La Figura 1 presenta la serie histórica de producción agrícola (granos y caña de azúcar) y del consumo de nitrógeno como fertilizante en el periodo 1990-2016 (BUR 3).

**Figura 1 - Evolución de la producción agrícola y el consumo de Nitrógeno como fertilizante**



Fuente: BUR 3

Los fertilizantes nitrogenados, utilizados especialmente en cereales en rotación con oleaginosas, generan emisiones de GEI, principalmente de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), a partir de la fracción que se volatiliza en las aplicaciones de urea.

Las emisiones de GEI "Totales (Directas e Indirectas) por uso de urea" en Argentina representan alrededor del 4,4 % del sector de la Agricultura (AFOLU) y el 1,7 % del total nacional. Las emisiones de GEI indirectas "por volatilización de urea" en Argentina representan alrededor del 1,1 % del sector Agricultura (AFOLU) y el 0,4 % del total nacional.

<sup>5</sup> Calzada J. y G. D'Angel. 2021. Fertilizantes: panorama y oportunidades para la Argentina. Informe Semanal de Mercados. Bolsa de Comercio de Rosario. 25 de Junio 2021

<https://bcnews.com.ar/agroindustria/fertilizantes-panorama-y-oportunidades-para-la-argentina/>

De acuerdo con la tendencia de los últimos años, se espera un aumento del consumo de fertilizantes por el crecimiento adicional del área cultivada, el progreso genético en el rendimiento de los cultivos y dado que la reposición de nutrientes al suelo no es suficiente para compensar los nutrientes absorbidos por las plantas, razones que se traducen en un mayor uso de fertilizantes<sup>6</sup>. El incremento de la producción de granos (oferta) estaría traccionado por la demanda sostenida de alimentos, y otros subproductos, de una población aún creciente en el mundo. El progreso genético permite gradualmente alcanzar rindes mayores que deben ir acompañados por la aplicación de fertilizantes. Así lo ha sido en las últimas tres décadas y así se espera ocurra en los próximos años.

Una de las tecnologías existentes para aumentar los rendimientos mediante un uso creciente de fertilizantes, sin generar un aumento proporcional de las emisiones, consiste en el uso de inhibidores de la volatilización de la urea, denominada Urea NBPT. La disminución de pérdidas por volatilización, permite alcanzar una mayor producción de biomasa por unidad de nitrógeno aplicada. Esta mejora en la eficiencia del uso del fertilizante (urea principalmente) reduce pérdidas para el productor y a la vez posee la ventaja de reducir emisiones de GEI.

El uso de urea "tratada" con inhibidores de la volatilización, permite reducir a valores del 1 al 3% la volatilización de este fertilizante nitrogenado, considerando que las pérdidas por volatilización van del 10% hasta el 40% en cultivos de verano en nuestro país, según datos de la literatura. Si bien los fertilizantes nitrogenados son una categoría menor en el total de emisiones GEI, la expansión de la adopción de esta tecnología es una acción cuantificable y verificable, tanto en su costo como en su beneficio.

Paralelamente, el incremento de la producción de biomasa (aérea y subterránea), particularmente en cereales, tiene un efecto positivo sobre el balance de carbono en el suelo, disminuyendo las emisiones netas por cambios en el carbono orgánico del suelo (COS).

---

<sup>6</sup> Se debe destacar la ausencia del riesgo ambiental en el uso de fertilizantes "per se". La presencia de nitratos en un sistema agrícola no depende del uso de fertilizantes, sino también de la rotación con cultivos fijadores de N atmosférico (leguminosas como soja, poroto, alfalfa y tréboles). Sin embargo, es cierto que los nitratos son altamente solubles y pueden moverse en solución a cuerpos de agua superficiales y aguas subterráneas, causando eutrofización y contaminación de napas. El transporte de nitratos a cursos de agua está muy relacionado con las prácticas de manejo de cultivos. Por ejemplo, la labranza cero combinada con terrazas y el cultivo en contorno controla la escorrentía de agua y las pérdidas por transporte de nitratos. La lixiviación de nitratos a acuíferos subterráneos está estrechamente relacionada con la textura del suelo (contenido de arena) así como con las tasas de fertilización y el momento de la aplicación. No obstante, el lavado de nitratos por lixiviación existe como proceso natural, debido a la alta solubilidad de los nitratos presentes en el suelo, aun en ausencia de uso de fertilizantes sintéticos. La presencia de nitratos en el suelo proviene de la mineralización de la materia orgánica del suelo y de la biomasa radicular de los cultivos en rotación, tanto de cereales como de leguminosas.



### Marco de políticas nacionales y provinciales

El Plan de Acción Nacional de Agro y Cambio Climático de 2019<sup>7</sup> contempla entre las principales acciones de mitigación, las rotaciones con cereales y su efecto indirecto sobre la conservación o recuperación del COS. En segundo término, menciona las buenas prácticas en el uso de fertilizantes y el uso de cultivos de cobertura, estas últimas sin cuantificar y en proceso de estudio.

Este tipo de tecnología (inhibidores de la volatilización) se encuentra encuadrada dentro de lo que se denominan "Buenas Prácticas Agrícolas" (BPA) lo cual constituye una cuestión transversal a todas las cadenas de valor del sector agropecuario. Las BPA:

- Promueven que los productos agropecuarios no hagan daño a la salud humana y animal ni al medio ambiente;
- Protegen la salud y la seguridad de los trabajadores;
- Tienen en cuenta el buen uso y manejo de los insumos agropecuarios.

La Red BPA es el resultado de un proceso de diálogo interinstitucional entre las principales entidades públicas y privadas de Argentina. El trabajo multidisciplinario definió normas para garantizar que las actividades de siembra, pulverización, cosecha y postcosecha se realicen de acuerdo a las BPA.

Esta iniciativa fue impulsada por la Bolsa de cereales de Buenos Aires en el año 2014. Ha logrado reunir a más de 40 entidades públicas y privadas representantes de los distintos sectores de la cadena de producción agrícola. Cuenta con representantes de asociaciones de productores, gremiales, academia, estado, industria, proveedores de insumos, entre otros.

El propósito de la Red BPA es "contar con un mecanismo de intercambio de información, diálogo interinstitucional y cooperación entre sus miembros, para abordar de forma integral las distintas dimensiones de esta temática". Los objetivos son: "Promover la implementación de las BPA y comunicar a la sociedad sobre la importancia de tal implementación y la relevancia de la actividad agrícola en general".

La Red fue creada para contar con un mecanismo de intercambio de información, diálogo y cooperación entre sus miembros y así abordar de forma integral las distintas dimensiones de la temática. Se proponen las responsabilidades de cada uno de los actores involucrados en el manejo y en la aplicación de productos fitosanitarios, de modo que la utilización de los

---

<sup>7</sup> SAyDS . Dirección de Cambio climático. 2019 Plan de Acción Nacional de Agro y Cambio Climático - Gabinete Nacional de Cambio Climático. Versión preliminar. Disponible en:

[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan\\_de\\_accion\\_nacional\\_de\\_agro\\_y\\_cambio\\_climatico\\_-\\_version\\_preliminar.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_de_accion_nacional_de_agro_y_cambio_climatico_-_version_preliminar.pdf)

productos se realice bajo condiciones que aseguren la protección de la población y del ecosistema, en conjunto con pautas de fiscalización específicas y controles, así como un conjunto de sanciones para todos aquellos actores que no cumplan con lo establecido por la normativa propuesta y atenten contra el bienestar de la sociedad.

Su funcionamiento comprende una mesa plenaria en donde participan representantes de todas las instituciones y comisiones específicas de: Cultivos extensivos, Cultivos intensivos, Capacitación, Comunicación y Normativa.<sup>8</sup>

No obstante, existen barreras para la adopción masiva de las BPA y, en particular, de esta tecnología, que han sido identificadas a partir de los diálogos con actores clave:

- *Barreras técnicas y de información*
  - Desconocimiento por parte de los técnicos de la dinámica de pérdidas de nitrógeno por volatilización y su impacto sobre la eficiencia de aplicación de la urea.
  - El productor no percibe el beneficio de un fertilizante que no se volatilice, y sólo lo percibe como un costo adicional.
  - Los distribuidores de urea no siempre poseen la estructura necesaria para tratar el fertilizante con los polímeros inhibidores de la volatilización, siendo así pocas las empresas que efectivamente ofrecen esta tecnología.
  - Falta de información y difusión sobre los beneficios ambientales y productivos de la tecnología, tanto en técnicos como productores.
- *Barreras económicas y financieras:*
  - Costo adicional de 50 usd/tn de urea, que es cercano al 10% adicional del costo histórico promedio del fertilizante tradicional.
- *Barreras políticas:*
  - Falta de incentivos económicos y financieros que permitan hacer más accesibles al productor herramientas que le permitan reducir las emisiones de GEI por uso de fertilizantes nitrogenados.

La adopción de distintas BPA es un objetivo de política agropecuaria y normalmente debe ir acompañado con programas de incentivos o instrumentos económicos o financieros (subsidios, desgravaciones impositivas, créditos blandos, por ejemplo). En los últimos años, las

<sup>8</sup> Hasta el momento como resultado del trabajo realizado se han elaborado tres documentos referenciales sobre BPA:

- Buenas Prácticas Agrícolas: Directivas y requisitos para Cultivos Extensivos
- Buenas Prácticas Agrícolas: Directivas y requisitos para Cultivos Intensivos
- Recomendaciones para normativas de Departamentos, Municipios y Partidos que regulen sobre aplicaciones de productos fitosanitarios

Estos documentos se encuentran disponibles en la página web de la RedBPA, [www.redbpa.org.ar](http://www.redbpa.org.ar)

BPA han ido tomando especial relevancia y se están implementando programas en distintas provincias de la Argentina.

## 2. Descripción de la oportunidad

El uso de Urea con inhibidores de la volatilización (Urea NBPT) contribuye a la disminución de emisiones de GEI en cultivos agrícolas y de las pérdidas del nitrógeno aplicado como fertilizante. En cultivos de granos, estas pérdidas de nitrógeno limitan el crecimiento del cultivo y redundan en una merma en el rendimiento obtenido respecto del esperado. Una menor disponibilidad de nitrógeno determina una reducción en la biomasa vegetal y por lo tanto un aporte menor de carbono en el suelo. En consecuencia, la adopción masiva de la Urea NBPT generaría una disminución de emisiones de GEI provenientes del fertilizante y de la pérdida de materia orgánica del suelo.

La presente oportunidad, propone la adopción de urea con inhibidores de la volatilización, en programas de Incentivos para productores agrícolas de la región Mar y Sierras, ubicada al sudeste de la provincia de Buenos Aires. La región abarca los partidos de Tandil, Balcarce, Lobería y Necochea. Esta es una zona con uso extendido de fertilizantes nitrogenados por ser una región productora de trigo y cebada y también productora de maíz.

Por otra parte, en la zona se comercializa urea con Inhibidores desde hace varios años y con ensayos tanto de INTA Balcarce como de una de las empresas vendedoras de fertilizante (Nutrien SA), siendo un caso demostrativo para luego ser escalable.

El beneficio de esta tecnología está estrechamente relacionado con una rotación balanceada de cultivos que incluya cereales de invierno (trigo o cebada) y de verano (maíz o sorgo). Los cereales son demandantes en nitrógeno y responden significativamente a la fertilización. Al mismo tiempo, los cereales aportan en la rotación una mayor cantidad de carbono y biomasa de raíces. Este aporte de los cereales confiere estructura al suelo aumentando la porosidad y la capacidad de almacenaje de agua, y provee cobertura de residuos disminuyendo el riesgo de erosión.

El progreso genético genera año a año un gradual incremento en las dosis de fertilizantes nitrogenados y, por esta razón, es esperable en el futuro un aumento del consumo de urea. Sin embargo, la implementación de una tecnología como la Urea NBPT, evitaría grandes pérdidas de nitrógeno y las consecuentes emisiones de GEI asociadas, dado que la fracción de volatilización (Frac Gasf) de la urea puede reducirse de 0.15 a 0.025<sup>9</sup>. La tecnología se

---

<sup>9</sup> La emisión de N<sub>2</sub>O proveniente de fertilizantes sintéticos por deposición atmosférica del N volatilizado se calcula aplicando dos factores de emisión: "Frac Gasf" y "EF1". El factor "Frac Gasf" es la fracción de urea que se volatiliza a la atmósfera como amonio y el factor EF1 es la fracción volatilizada que se transforma en N<sub>2</sub>O. Los inhibidores de la volatilización disminuyen la Frac Gasf que por default es de 0.15 ( es decir 15%) y que puede llegar, según mediciones de trabajos publicados, a pérdidas de hasta el 40%.

encuentra disponible en el país desde hace varios años y su adopción masiva no sólo es factible, sino también conveniente en términos económicos y ambientales, tal como se detallará en las siguientes secciones.

Actualmente se comercializa algo más del 10% de este tipo de urea tratada con inhibidores, dado que la demanda ha comenzado a crecer en los últimos 3 años.<sup>10</sup>

### Actores clave involucrados

Los actores identificados para el desarrollo de esta oportunidad son:

- productores agrícolas que podrían aplicar la urea NBPT,
- asesores técnicos que colaboren en la difusión de la tecnología y sus beneficios,
- empresas vendedoras de fertilizantes, que ofrezcan y
- empresas proveedoras de servicios técnicos.

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y otras organizaciones de productores podrían contribuir a la difusión de la utilidad de la adopción de esta práctica. A nivel institucional, en este aspecto es relevante mencionar la Red BPA que integran instituciones públicas (INTA, MAGYP, etc.) y privadas (ONGs, Asociaciones de productores y empresas de insumos y servicios agropecuarias). Esta red difunde y promueve la adopción de prácticas y tecnologías en el sector productivo con el objetivo de alcanzar sistemas que sean cada día más sostenibles. Por lo tanto, es clave la difusión de manera de modificar la forma de fertilización, pasando de la aplicación de la urea tradicional a urea NBPT, de manera de aumentar la eficiencia del fertilizante.

De acuerdo a los diálogos llevados a cabo en el marco de este proyecto, una limitante para la expansión de esta tecnología fue el grado de adopción o la demanda por parte de los productores. Por lo tanto, será clave que las BPA se diseñen en el marco de políticas y programas de incentivos para abarcar a la oferta de la urea NBPT. De todas maneras, para los vendedores de fertilizantes es claramente una oportunidad de negocio ante los ingresos adicionales generados por la venta de la urea NBPT respecto de la urea común, en un negocio donde se comercializan grandes volúmenes.

### Teoría del cambio

La expansión de esta práctica refuerza la validez del paradigma constituido por la Siembra Directa a la vez que aporta a reducir el impacto ambiental de su aplicación. Este sistema de

---

La urea NBPT ha mostrado niveles de volatilización entre el 1% y el 3% y por eso se menciona que esta tecnología reduciría al Frac Gasf de 0.15 a 0.025 (2.5% por tomar un valor mas probable según la literatura).

<sup>10</sup> Esta conclusión se desprende de las numerosas entrevistas sostenidas con expertos en el tema en el marco de los diálogos que se desarrollan en el Proyecto Decarboost.

cultivo sin laboreo del suelo, requiere del uso de fertilizantes nitrogenados en mayor medida que la labranza convencional.

La adopción masiva de la urea NBPT es pues un paso más en el conocimiento de la adopción de prácticas cuyo objetivo sea tanto económico ambiental, cuanto en su utilización efectiva para reducir la huella ambiental de las actividades económicas. La expansión y adopción masiva de la siembra directa tuvo ambas componentes. La diferencia reside en que la siembra directa tuvo epicentro en la conservación del suelo y la mejora de la eficiencia del uso del agua, mientras que la urea NBPT (y otras tecnologías similares) apunta a mejorar la eficiencia del uso del Nitrógeno. Este antecedente es importante, como así también destaca en el marco actual de políticas que promuevan la adopción de BPA y la sostenibilidad de los sistemas de producción.

Por otra parte, la adopción de estas tecnologías contribuye al intercambio de conocimiento y aprendizaje, e implica un cambio de conducta en la adopción de patrones de producción, mejorando la competitividad de la actividad a la vez que su sostenibilidad. La tecnificación y adopción de tecnología es el núcleo dinámico que ha transformado la capacidad de producir en el sector agrícola.

### **Alineamiento con la normativa**

Existen actualmente algunos proyectos de ley de promoción del uso de fertilizantes con mecanismos de desgravación del impuesto a las ganancias, aunque no han logrado su tratamiento en el Congreso de la Nación.

En un sentido más amplio, esta tecnología puede englobarse en futuros programas de incentivos de BPA. La primera iniciativa de este tipo ha sido recientemente aplicada en la Provincia de Córdoba, establecida por ley provincial 10.633 en 2017, siendo el Ministerio de Agricultura y Ganadería de la provincia la Autoridad de Aplicación de la ley. El programa de incentivos se encuentra vigente y en pleno crecimiento en esa provincia (1.4 millones de hectáreas). Este programa abarca un listado de "Buenas Prácticas" que contempla la conservación y fertilización de suelos, la inclusión de forestación en una pequeña parte del predio productivo, el manejo responsable de envases de agroquímicos, adopción de tecnología, etc. Dicho programa califica al productor con un sistema de puntaje asociado a una retribución monetaria. En 2020 el programa tuvo un presupuesto de 180 millones de pesos que alcanzó a 3,346 productores.

Más recientemente, Buenos Aires y Santa Fe también lanzaron sus respectivos programas de BPA mientras aún se encuentra en desarrollo una iniciativa similar para su aplicación en la provincia de Entre Ríos.

Por lo tanto, la incorporación de este tipo de tecnología podría ser estimulada en línea con los objetivos de este tipo de programas.

### 3. Necesidades de inversión

Para evaluar el impacto de esta opción tecnológica se comparan los márgenes económicos para un productor aplicando la urea NBPT respecto de la urea común. Adicionalmente, se realiza un cálculo del impacto de esta tecnología en términos de emisiones de GEI de los cultivos de trigo, soja y maíz; este último en secano y con riego.

Para el cálculo económico se utilizaron rindes promedio de los grupos CREA del partido de Tandil, en la provincia de Buenos Aires, y los precios corrientes de insumos y granos correspondientes a Abril de 2022.

Los resultados de la estimación del margen económico, gastos de cultivo e ingresos por venta de la producción (detallados en las Tablas 1 y 2) muestran que la urea NBPT posee un costo marginal respecto a la urea común (precio mayor), siendo su beneficio igual o mayor ya que compensa pérdidas por volatilización que van del 10% hasta el 40% en cultivos (trigo, maíz y maíz con riego).

**Tabla 1 Ingreso neto por cultivo para la zona Mar y Sierras (Tandil)<sup>11</sup>**

	Trigo		Maiz		Maiz Riego		Soja 1ra <sup>12</sup>	Soja 2da <sup>13</sup>
	Urea común	Urea NBPT	Urea común	Urea NBPT	Urea común	Urea NBPT	sin urea	sin urea
Precio Esperado Pizarra Cereal (usd/tn)	300	300	220	220	220	220	375	375
Gastos Comercializacion (%)	10%	10%	16%	16%	16%	16%	8%	8%
Precio Neto Cereal (usd/tn)	270	270	184.8	184.8	184.8	184.8	345	345
<b>Ingreso Neto (usd/ha)</b> (Rinde final x Precio Neto)	<b>1,181</b>	<b>1,322</b>	<b>1,399</b>	<b>1,496</b>	<b>2,163</b>	<b>2,332</b>	<b>1,035</b>	<b>414</b>

**Tabla 2 – Gastos Directos y Margen por cultivo para la zona Mar y Sierras (Tandil)**

	Trigo		Maiz		Maiz Riego		Soja 1ra	Soja 2da
	Urea común	Urea NBPT	Urea común	Urea NBPT	Urea común	Urea NBPT	sin urea	sin urea
<b>Gastos Directos (usd/ha)</b>								

<sup>11</sup> El costo adicional por "tonelada de urea NBPT" es de 50 u\$s/tn histórico promedio. El costo adicional es de entre 50 y 80 u\$s por tonelada aplicada, y el costo por hectárea dependerá de la dosis de urea utilizada en los distintos cultivos, desde 10 u\$s/ha en cultivos de secano hasta 20 u\$s/ha en cultivos bajo riego que llevan dosis mayores de fertilizantes.

<sup>12</sup> Los cultivos de Soja de primera no utilizan fertilizantes nitrogenados ya que absorben el nitrógeno atmosférico por fijación simbiótica

<sup>13</sup> Los cultivos de Soja de segunda no utilizan fertilizantes nitrogenados ya que absorben el nitrógeno atmosférico por fijación simbiótica

Labores (Siembra-Fertilización y Pulverizaciones)	85	85	76.2	76.2	76.2	76.2	90	90
Riego (usd/ha)	-	-	-	-	200	200	-	-
<b>Costo fertilizante (usd/ha)</b>								
Fertilizante fosforado	112	112	112	112	168	168	84	-
Urea	260	276	260	276	455	483	-	-
Semilla (usd/ha)	60	60	197	197	88	88	45	50
Herbicidas y coadyuvantes (usd/ha)	74	74	106	106	106	106	148	72
Insecticidas y Funguicidas (usd/ha)	33	33	2	2	2	2	8	6
Seguros (usd/ha)	14	14	-	-	-	-	-	-
Cosecha (usd/ha)	108	108	111	111	165	165	78	65
<b>Total Gastos Directos (usd/ha)</b>	<b>661</b>	<b>677</b>	<b>788</b>	<b>804</b>	<b>984</b>	<b>1,012</b>	<b>363</b>	<b>193</b>
<b>Margen económico (usd/ha)</b>	520	645	612	692	1,179	1,320	672	221
<b>Rentabilidad de Urea NBPT</b>		25%		13%		14%		

Si se compara la misma rotación de 3 años "Maiz-Soja-Trigo/Soja 2da", con Urea vs Urea NBPT, el margen y la rentabilidad es mayor a favor de la Urea NBPT, tanto en rotaciones que incluyan maíz de secano como maíz con riego. Este último es más rentable aún debido al uso de mayores dosis de nitrógeno y mermas de rendimiento en grano también mayores por volatilización de la urea aplicada.

El costo adicional de la Urea NBPT respecto a la urea común, es del orden de los 50 – 80 USD/tn, lo cual representa alrededor de un 10% del costo histórico promedio del fertilizante tradicional, siendo su beneficio mayor ya que compensa pérdidas por volatilización que van del 10% hasta el 40% en cultivos de verano en nuestro país según datos de la literatura.<sup>141516</sup>

Más aún, por hectárea en la que se aplica la urea NBPT se logra un rendimiento entre 13 y 25% mayor (según el tipo de cultivo) que si se aplica la urea común debido al mayor rinde esperado. Por lo tanto, si bien el productor enfrenta un costo adicional al inicio de la campaña por la urea NBPT, ese costo incremental se ve recuperado en ese mismo período al mejorar el rinde por hectárea. Por lo tanto, la introducción de esta tecnología incrementa la competitividad a la vez

<sup>14</sup> Ferraris, G., L. Couretot y M. Toribio. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz en Pergamino (Bs As). Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IPNI. N°41.

<sup>15</sup> Fontaneto, H; H Vivas; O Kéller & J Romera. 2002. Evaluación de la volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas en soja con siembra directa. II Congreso Brasileiro de Soja. Mercosoja 2002. Resúmenes: 229.

<sup>16</sup> García F. O., K. P. Fabrizzi, L. Picone y F. Justel. 1999. Volatilización de amoníaco a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional en Argentina. Actas 14º. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile.

que la rentabilidad de los productores, a la vez que se obtiene un beneficio asociado a la reducción de emisiones por hectárea cosechada.

En general el productor financia sus insumos con capital propio o con mecanismos de pagos a cosecha y tarjetas rurales que tramita con las empresas de insumos y sus distribuidores locales. Para promover la adopción de esta tecnología y extender la BPA, un instrumento eficaz puede ser la introducción de Aportes no Reintegrables (ANR) al productor que introduzca esta práctica, cubriendo parcialmente su costo, o desgravándolo en un 100% del impuesto a las ganancias.

Aún cuando para el gobierno, la asistencia al productor para introducir esta tecnología tendría un costo fiscal incremental, el mismo es relativamente marginal ya que el rinde también incremental resulta en un mayor pago de impuesto a las ganancias que el costo para el gobierno asociado a los ANR o exención impositiva por la aplicación de la urea NBPT<sup>17</sup>.

#### 4. Resultados esperados

El cálculo de las emisiones de GEI en cultivos y el balance de carbono en el suelo fueron estimados utilizando el modelo AMG (Milesi Delaye et al, 2013)<sup>18</sup> para carbono en suelo (ver Anexo 1), y la metodología IPCC 2006 y el Reporte Metodológico IPCC 2019. Se compararon las emisiones y balances de carbono de 6 modelos de rotaciones, o secuencia de cultivos (ver Anexo 2), seleccionando para el análisis la rotación "Maíz-Soja-Trigo/Soja 2da", por ser la más conservadora en términos de carbono del suelo, balance de nutrientes y emisiones de GEI<sup>19</sup>.

La Tabla 3 presenta el rendimiento objetivo de los cultivos incluidos en la rotación, las dosis aplicadas de urea (con y sin inhibidor), las pérdidas de nitrógeno aplicado por volatilización y su consecuente merma en el rendimiento. Dichas mermas de rendimiento se estimaron considerando que una tonelada de grano requiere en trigo 30 kg N y en maíz 22 kg N.

La misma Tabla presenta las emisiones de los cultivos para los escenarios: Urea común y Urea NBPT. Los cultivos de Soja y Soja de segunda no utilizan fertilizantes nitrogenados ya que absorben el N atmosférico por fijación simbiótica.

<sup>17</sup> Por ejemplo, en caso de subsidiar un 25% del costo de la urea NPBT (4 USD/ha), el impuesto a las ganancias por el rinde incremental es 26% mayor (40 USD/ha), por lo que el gobierno se asegura un ingreso fiscal adicional (32 USD/ha).

<sup>18</sup> Milesi Delaye, L.A., A.B. Irizar, A.E. Andriulo and B. Mary. 2013. Effect of Continuous Agriculture of Grassland Soils of the Argentine Rolling Pampa on Soil Organic Carbon and Nitrogen. *Applied and Environmental Soil Science* 2013(2) DOI: 10.1155/2013/48786

<sup>19</sup> En el caso de la rotación que incluye maíz con riego, se consideró el uso de gasoil como combustible para el funcionamiento de un equipo de pivot central, estimando una lámina promedio de 200 mm/ha/año y un consumo de 0.88lts/ mm regado. Por esa razón las emisiones provenientes de combustibles son mayores en el maíz de riego que en el resto de los cultivos. A los fines prácticos, la situación de maíz de secano es la más frecuente en la región.



Tabla 3 - Emisiones de GEI por cultivo para la zona Mar y Sierras (Tandil)

Escenarios	Trigo		Maíz		Maíz Riego		Soja	Soja 2da
	Urea común	Urea NBPT	Urea común	Urea NBPT	Urea común	Urea NBPT	sin urea	sin urea
<b>Rinde Objetivo (kg/ha)</b>	5000	5000	8200	8200	12800	12800	3000	1200
<b>N aplicado como Urea</b>								
Dosis de Urea	200	200	200	200	350	350	0	0
Dosis de N	92	92	92	92	161	161	0	0
<b>Perdidas por volatilización</b>								
IPCC default (%)	15,0%	2,5%	15,0%	2,5%	15,0%	2,5%		
Pérdida de N por volatilización (kg/ha)	13,8	2,3	13,8	2,3	24,15	4,025		
Pérdida de Rinde Grano (kg/ha)	627	105	627	105	1,098	183		
<b>Rinde estimado Final</b>	<b>4.373</b>	<b>4.895</b>	<b>7.573</b>	<b>8,095</b>	<b>11,702</b>	<b>12,617</b>	<b>3,000</b>	<b>1,200</b>
<b>Calculo Emisiones (IPCC, 2019) - (kgCO<sub>2</sub>e /ha/año)</b>								
Emisiones por Residuos Agrícolas -	238	264	260	276	395	424	161	96
Emisiones por Uso de Fertilizantes	1,173	1,098	1,173	1,098	2,020	1,888	100	-
Emisiones por Uso de combustibles	81	81	81	81	558	558	81	27
Emisiones por cambios en el Stock de carbono en el suelo	1,648	1,509	1,386	1,256	294	60	2,273	(795)
<b>Total Emisiones (kgCO<sub>2</sub>e /ha/año)</b>	<b>3,141</b>	<b>2,952</b>	<b>2,901</b>	<b>2,711</b>	<b>3,268</b>	<b>2,931</b>	<b>2,615</b>	<b>(673)</b>

La adopción de esta práctica permitiría una reducción de emisiones en cultivos agrícolas del 5-6% respecto a la utilización de urea común.

Respecto del costo de abatimiento, la Tabla 4 presenta las emisiones, márgenes económicos y rentabilidad de los escenarios analizados para la misma rotación "Maiz-Soja-Trigo/Soja2da".

Tabla 4- Emisiones de GEI y margen económico de la rotación "Maiz-Soja-Trigo/Soja2da" con Urea común y Urea NBPT incluyendo maíz de secano o maíz con riego.

Análisis por Rotación (3 años) : Maíz-Soja-Trigo/Soja 2da	Rotación con Maíz Secano		Rotación con Maíz con Riego	
	Urea comun	Urea NBPT	Urea comun	Urea NBPT
Margen economico y Emisiones por Rotación				
Emisiones por Residuos Agrícolas - (kgCO <sub>2</sub> e)	755	796	889	944
Emisiones por Uso de Fertilizantes sintéticos (kgCO <sub>2</sub> )	2,447	2,296	3,294	2,986
Emisiones por combustible (kgCO <sub>2</sub> e)	271	271	3,294	3,086
Emisiones cambios en el Stock de carbono en suelos	4,511	4,242	748	748
<b>Total Emisiones Rotación de 3 años (kgCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>7,984</b>	<b>7,605</b>	<b>8,225</b>	<b>7,765</b>
Reducción Anual promedio de emisiones (kgCO <sub>2</sub> e/ha/año)		<b>126.1</b>		<b>153.3</b>
Reducción de emisiones (%)		<b>4.7%</b>		<b>5.6%</b>
Margen económico de la rotación (usd/ha)	2,025	2,230	2,592	2,858

<b>Rentabilidad</b>	101%	<b>110%</b>	118%	<b>127%</b>
---------------------	------	-------------	------	-------------

Esta tecnología, como acción de mitigación, presenta un costo por tonelada de CO<sub>2</sub> reducida cercano a los 85 usd/tnCO<sub>2</sub>. Más aún, su implementación genera un beneficio marginal mayor, que da lugar a un "beneficio neto" por tonelada de CO<sub>2</sub> evitada de 459 usd/tn CO<sub>2</sub> (Tabla 5).

**Tabla 5 - Costo Neto por reducción de emisiones (usd/tonelada de CO<sub>2</sub>)**

<b>Costo de Mitigación</b>	<b>usd/tn CO<sub>2</sub></b>
Costo Marginal por Tn CO <sub>2</sub> reducida (usd/tn CO <sub>2</sub> )	(85)
Beneficio Marginal por Tn CO <sub>2</sub> reducida (usd/tn CO <sub>2</sub> )	544
<b>Beneficio Neto por tn CO<sub>2</sub> reducida (usd/tn CO<sub>2</sub>)</b>	<b>459</b>

La zona Mar y Sierras (Balcarce, Lobería, Necochea y Tandil) cultiva alrededor de 1.100.000 hectáreas<sup>20</sup>. Considerando que esta práctica se podría extender a la totalidad de los productores de esta región, significaría una reducción total anual de 138.600 tnCO<sub>2</sub>eq/año.

Si se considera a futuro un incremento gradual de rendimiento por progreso genético, los rindes mayores deberán ir acompañados por una aplicación mayor de fertilizante, de acuerdo a lo observado en las últimas tres décadas.

Por otra parte, el incremento de la producción de biomasa (aérea y subterránea), particularmente en cereales, tendría un efecto positivo sobre el balance de carbono en el suelo, disminuyendo las emisiones netas por cambios en el COS. Este aspecto es relevante ya que el potencial de mitigación de la práctica analizada no solo reduce emisiones directas del fertilizante, sino que estaría muy vinculada al balance de carbono del suelo.

El uso de inhibidores de la volatilización de la urea, además de reducir la huella de carbono, o intensidad de emisiones totales esperadas en kg CO<sub>2</sub>/tn de grano producido, mejora la eficiencia del uso del fertilizante y posibilita mayores rindes de los cultivos en rotación con cereales.

El incremento de la producción agrícola está asociado al uso creciente de fertilizantes nitrogenados. A su vez, el aumento de la productividad y la rotación de cultivos están ligados a la dinámica del carbono del suelo.

Promover la introducción de esta práctica agrícola tiene como objetivo estratégico contribuir a la seguridad alimentaria, haciendo posible la producción de alimentos a la vez que se

20 INDEC.2018 Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados Definitivos. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>

reducen las emisiones de GEI y se aumenta la eficiencia de los insumos utilizados, mejora la economía de los sistemas productivos y disminuye la huella ambiental de la producción.

La captura de carbono en el suelo, tiene cobeneficios relacionados con la conservación del recurso, el mantenimiento de su productividad, la prevención de la erosión y la degradación física. Por otra parte, las rotaciones diversifican el riesgo productivo y dan movimiento a más de una cadena productiva a nivel local, aportando a la generación de empleo, diversificación productiva y los servicios e industrias asociadas.

Esta acción de mitigación (inhibidores de la volatilización) es compatible con tres Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

- Mitigar las emisiones netas de GEI provenientes de actividades agrícolas, ganaderas y forestales, disminuyendo emisiones e incrementando capturas de carbono (ODS 13- Acción por el clima)
- Minimizar la degradación y mantener la capacidad productiva de los suelos, mediante la prevención de la erosión, la pérdida de carbono orgánico y un balance adecuado de nutrientes (ODS 2- Hambre cero y ODS 15-Vida de ecosistemas terrestres)

La propuesta es factible de implementar debido a que existen empresas en la zona sudeste de Buenos Aires que comercializan Urea NBPT<sup>21</sup>.

Pensando en extender esta propuesta a otras regiones, la red de comercialización de fertilizantes en el país es amplia y bien distribuida, de modo que la incorporación de esta tecnología es simple de implementar y con rápida llegada al productor usando los mismos canales actuales de venta y logística de la urea. En consecuencia, esta práctica -que es costo eficiente ya que permite aumentar los rendimientos mediante un uso creciente de fertilizantes, sin generar un aumento proporcional de las emisiones-, y de simple adopción, puede escalarse a nivel nacional a la gran mayoría de establecimientos agrícolas del país

El productor argentino es típicamente un adoptador continuo de tecnología, cuando la conoce y comprende sus beneficios y costos. La Urea NBPT, aunque no ha sido muy difundida, está disponible en el país y como toda tecnología de insumos es de simple adopción, siempre que la logística sea la adecuada para poder aplicarse en las distintas regiones.

La mejora continua esperada para los próximos años en el rendimiento de los cultivos, determinaría un consumo creciente de fertilizantes, que posiblemente permita la expansión y la reducción del costo adicional de la urea NBPT con respecto al de la urea común. La mayor

---

<sup>21</sup> A modo de ejemplo, en la zona de análisis (Mar y Sierras) la empresa Nutrien comercializa gran parte de la urea que vende como Urea NBPT con fluidez y en cualquier época del año

productividad de las rotaciones con cereales permite alcanzar balances de carbono del suelo menos negativos e incluso positivos.

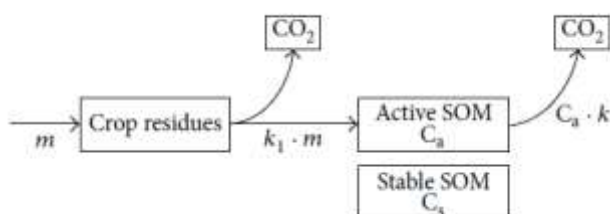
Dado que la opción tecnológica está disponible, es una oportunidad de inversión que combina la decisión privada y la participación pública en la difusión de una práctica económica y ambientalmente eficiente mediante la utilización de incentivos para el uso masivo de la tecnología y el aprovechamiento de las capacidades estatales para la difusión, la capacitación cuando aplica, y la diseminación de información para la toma de decisión.

## Anexo 1 – Modelo AMG de Balance de Carbono en suelo

El modelo AMG (Milesi Delaye et al, 2013) permite evaluar la dinámica del carbono en función del tipo de cultivo y rendimiento, sistema de labranza, tipo de suelo y clima (temperatura media, precipitación y evapotranspiración media anuales). Se utiliza para la evaluación y predicción del carbono del suelo en Tierras de Cultivo, evaluando el efecto de rotaciones de cultivo y sistemas de labranzas en los primeros 30 cm de suelo. Ha sido validado y ajustado en la Argentina y en Francia (Andriulo et al., 1999; Milesi Delaye et al., 2013)<sup>22</sup>

La Figura 2 muestra un diagrama conceptual del modelo, siendo los residuos de cosecha la fuente de entrada de carbono y las tasas de mineralización ( $k$ ) y humificación ( $k_1$ ) que gobiernan dichos procesos. Las mismas dependen de la textura del suelo, las condiciones climáticas y el tipo de residuo. El modelo utiliza el rendimiento de cultivo para estimar la biomasa aérea y subterránea anualmente aportada, la textura del suelo y valores anuales medios de temperatura, precipitación y ETP anual. Asimismo, el modelo permite ingresar la biomasa anual aportadas por más de un cultivo en rotaciones y enmiendas orgánicas dentro del mismo año. La Figura presenta la interrelación de los inputs y las ecuaciones de los procesos incluidos en el modelo.

**Figura 2 - Esquema conceptual del modelo AMG.**

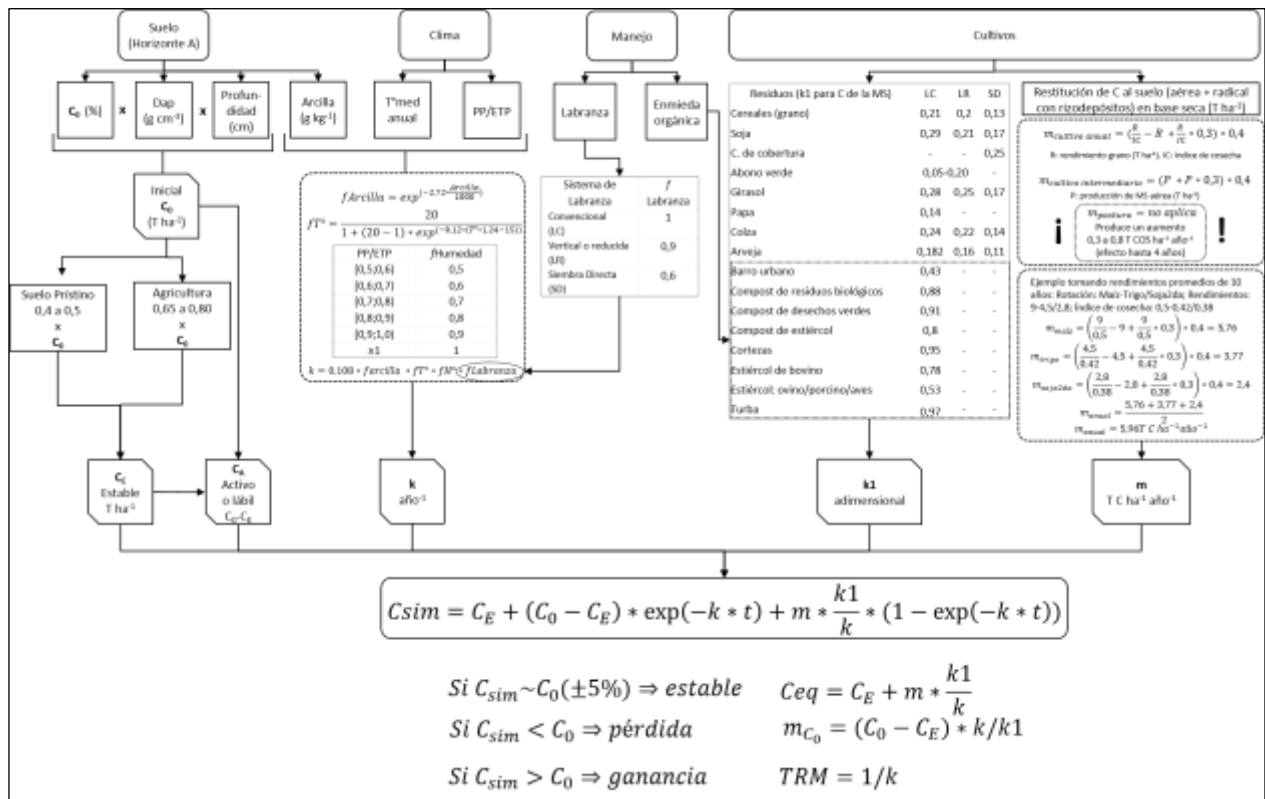


Fuente: Milesi Delaye et al., 2013

La Figura 3 presenta un diagrama más detallado de las variables, constantes, coeficientes y datos de entrada y salidas del modelo AMG. Las mismas se agrupan en las categorías: Suelo, Clima, Manejo y Cultivo, y se agrupan. Las variables de suelo incluyen el carbono inicial en dos fracciones (estable y activa), la densidad aparente y el porcentaje de arcilla.

<sup>22</sup> A. Andriulo, B. Mary, and J. Guerif, Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas, *Agronomie*, vol. 19, no. 5, pp. 365–377, 1999.

Figura 3 Diagrama para la aplicación del modelo AMG como herramienta para la proyección y evaluación de las reservas de C en sistemas de cultivos a nivel de lote



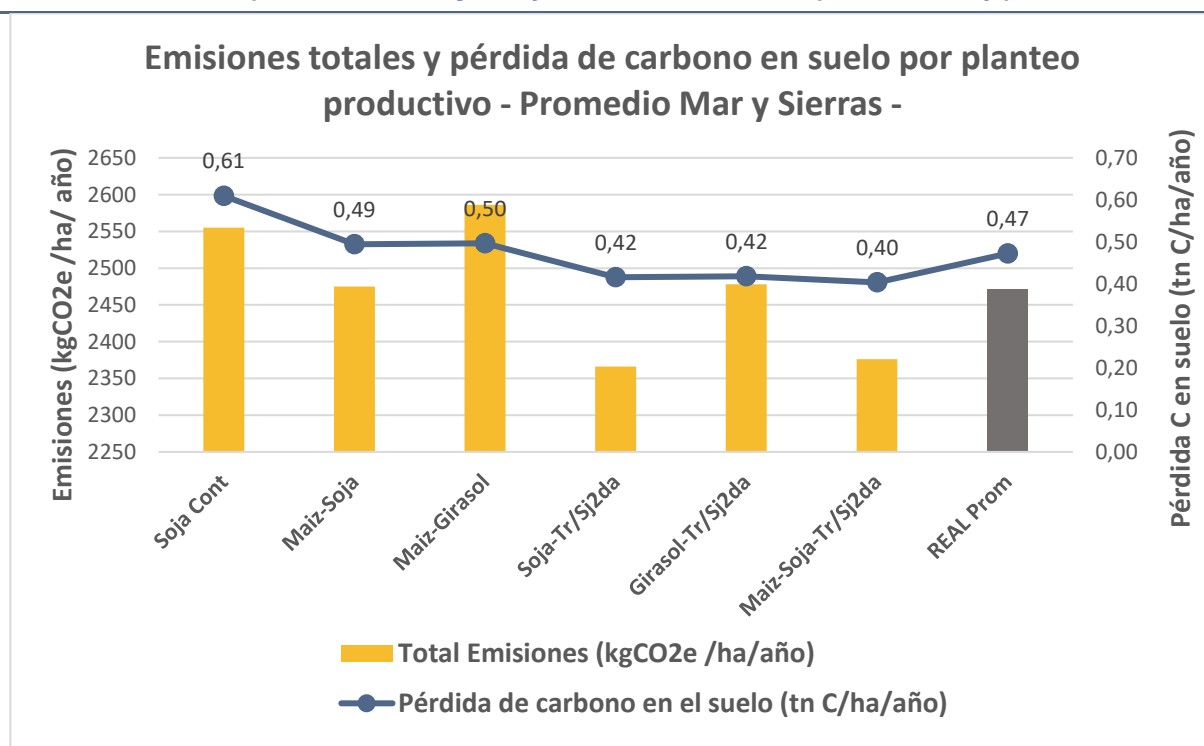
Fuente: Andriulo y Milesi (INTA- datos no publicados)

## Anexo 2 – Análisis de 6 rotaciones agrícolas

Es importante considerar que los inventarios de GEI de Argentina, por su método de cálculo, (Nivel 1), no incluyen el impacto de las rotaciones con gramíneas sobre el balance de C del suelo. Por esta razón, y a los fines de este estudio, el equipo consultor realizó un cálculo del balance de C del suelo para distintas rotaciones en el área de interés, utilizando un modelo de C en suelo (Modelo AMG). El modelo se corrió para un periodo de 30 años y 6 rotaciones, en todos los casos bajo el sistema de Siembra Directa, utilizando rindes medios de productores de grupos CREA del partido de Tandil.

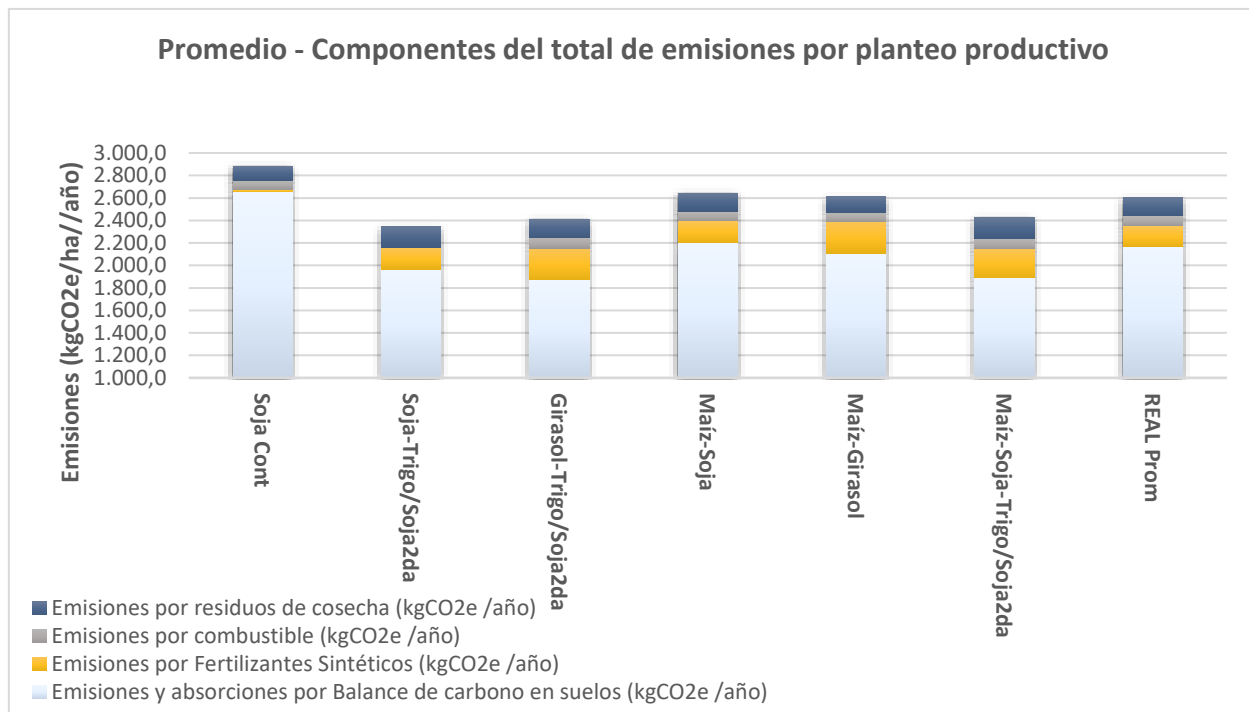
En las Figuras 4 y 5 se puede apreciar que al incorporar gramíneas y diversificar el planteo productivo, se reducen las emisiones totales anuales (CO<sub>2</sub>eq/ha), como también la pérdida de carbono anual en el suelo (tn C/ha), observándose hasta un 16% en el total de emisiones de la rotación Girasol-Trigo/Soja2da y Maíz-Soja-Trigo/Soja2da y un 30% menos de pérdida de carbono para ambos planteos con respecto al monocultivo de soja. La secuencia de mayor diversificación, Maíz-Soja-Trigo/Soja2da, tiene otras ventajas relevantes como la rotación de principios activos en el control de malezas resistentes y el efecto sinérgico del maíz como cultivo antecesor sobre el rendimiento del cultivo siguiente.

**Figura 4- Promedio de la pérdida de carbono en el suelo para cada rotación, expresada en toneladas de carbono por tonelada de grano y tonelada de carbono por hectárea y por año).**



Fuente: Elaboración propia

Figura 5 - Componentes del total de emisiones en kgCO2e/año.



Fuente: Elaboración propia