



## **Escuela de Postgrado**

# **“Relación entre la expansión de la red cloacal y la disminución de gases de efecto invernadero”**

TESIS PRESENTADA  
PARA EL CUMPLIMIENTO PARCIAL DE  
LOS REQUERIMIENTOS PARA EL TÍTULO DE MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Nombre y Apellido del Tesista: Andrés Troha, Licenciado en  
Administración de Empresas

Nombre y Apellido del Tutor de tesis: Braulio Pikman, Ingeniero Mecánico,  
Profesor invitado ITBA

Director de Carrera: Ing Julio Torti

Lugar Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
Mayo de 2014

## INDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>SUMARIO EJECUTIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>MÉTODOS y MATERIALES .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>90</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>104</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Gases de efecto invernadero estudiados y su potencial de calentamiento .....	9
Tabla 2: Evolución de los usuarios con servicio cloacal.....	20
Tabla 3: Tipo de tratamiento por planta (Datos extraídos de EIA's correspondientes). .....	21
Tabla 4: Valores para ecuación 3.....	67
Tabla 5: Evolución de variable "P".....	67
Tabla 6: TOW (kg al año) para cada intervalo. ....	67
Tabla 7: Emisiones de CH <sub>4</sub> generadas en cada escenario.....	73
Tabla 8: Consumo eléctrico.....	74
Tabla 9: MWh expresado en toneladas de CO <sub>2</sub> eq.....	75
Tabla 10: Valores de ecuación 8.....	77
Tabla 11: Evolución de la población con servicio sanitario.....	77
Tabla 12: Nitrógeno en efluente por escenario. ....	77
Tabla 13: Valores a aplicar en ecuación 7. ....	78
Tabla 14: Valores de N <sub>2</sub> O en cada escenario. ....	78
Tabla 15: Resultados del análisis de sensibilidad de la fracción N <sub>2</sub> O .....	78
Tabla 16: Toneladas de GEI por escenario. ....	79
Tabla 17: Valores expresados en CO <sub>2</sub> equivalente .....	79
Tabla 18: Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente, según sensibilidad aplicada .....	82
Tabla 19: Evolución de usuarios por sistema de tratamiento.....	84

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de efecto invernadero .....	8
Figura 2: Ubicación espacial de la CMR. ....	14
Figura 3: Área de concesión de AySA.....	15
Figura 4: Municipios afectados al estudio.....	16
Figura 5: Plantas de Saneamiento Cloacal de AySA.....	17
Figura 6: Ubicación en la cuenca de las plantas afectadas al estudio. ....	19
Figura 7: Proceso de planta "El Jagúel". ....	26
Figura 8: Planta Depuradora "Del Bicentenario". ....	27
Figura 9: Planta de proceso de planta depuradora "Lanús". ....	28
Figura 10: Lay out de planta "Fiorito".....	29
Figura 11: Tratamientos incluidos en expansión de planta Sudoeste.....	30
Figura 12: Tratamiento y vías de eliminación de las aguas residuales.....	34

Figura 13: Árbol de decisión de niveles metodológicos, extraído de la metodología del IPCC para cálculo de emisiones, versión 2006. ....	41
Figura 14: Árbol de decisión de nivel de métodos, extraído de las directrices del IPCC para cálculo de emisiones, año 2006 .....	53

#### INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Potenciales de emisión de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O para sistemas de tratamiento y eliminación de aguas y lodos residuales .....	37
Cuadro 2: Capacidad máxima de producción de CH <sub>4</sub> (B0) por defecto para las aguas residuales domésticas .....	45
Cuadro 3: Valores de MCF por defecto para las aguas residuales domésticas .....	46
Cuadro 4: Valores de DBO5 estimados para las aguas residuales domésticas por regiones y países seleccionados .....	48
Cuadro 5: Valores sugeridos para la urbanización (U) y el grado de utilización de la vía del tratamiento o eliminación o del método por grupo de ingresos (Ti,j) para los países seleccionados .....	49
Cuadro 6: Intervalos de incertidumbre por defecto para las aguas residuales domésticas .....	51
Cuadro 7: Valores de MCF por defecto para las aguas residuales industriales .....	57
Cuadro 8: Ejemplos de datos sobre aguas residuales industriales. ....	59
Cuadro 9: Intervalos de incertidumbre por defecto para las aguas residuales industriales .....	60
Cuadro 10: Datos por defecto para la metodología del N <sub>2</sub> O .....	65

#### INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: contribución de cada especie a los distintos escenarios. ....	80
Gráfico 2: Análisis de sensibilidad con datos por defecto. ....	80
Gráfico 3: Análisis de sensibilidad, con variación de +50% de N <sub>2</sub> O. ....	81
Gráfico 4: Análisis de sensibilidad, con variación de -50% de N <sub>2</sub> O. ....	82
Gráfico 5: Análisis de sensibilidad y usuarios de pozo ciego. ....	83
Gráfico 6: Evolución de la población según el método de tratamiento utilizado. ....	84
Gráfico 7: evolución de CO <sub>2</sub> eq. ....	85

#### INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla del IPCC sobre potencial de calentamiento global .....	91
Anexo 2: Cálculo de factor de Emisión (Secretaría de Energía) .....	93
Anexo 3: Abreviaturas .....	101
Anexo 4: Análisis de sensibilidad del Metano .....	102

## **1 SUMARIO EJECUTIVO**

El presente trabajo de tesis de maestría busca demostrar la relación entre la implementación de un sistema de saneamiento cloacal, en un área determinada, donde el principal tratamiento cloacal es el vertido en pozos ciegos o letrinas y la disminución de emisiones de los gases de efecto invernadero asociada.

Para ello, se buscaron metodologías de cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero, y se identificó un área donde se pudiera incorporar infraestructura de saneamiento cloacal.

Afortunadamente, se pudo ubicar en el área de concesión de AySA un plan director<sup>1</sup> de saneamiento cloacal, el cual está en pleno proceso de implantación.

El mismo, coincide con una cuenca referente de la problemática ambiental, la cuenca del Matanza Riachuelo.

La misma, es un caso testigo a partir del fallo Mendoza.

La conclusión del trabajo verifica el postulado.

## 2 INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero (de ahora en adelante, GEI'S), tema muy de moda en los últimos años, parecen ser uno de los grandes verdugos de la humanidad.

Como la mayoría de los grandes temas que amenazan la calidad de vida de algunos y la subsistencia de otros, en gran parte se originan en acciones de origen antrópico, mientras que otra fracción, es de origen biogénico.

Para ambas, el ser humano, consciente o inconsciente generador tanto para uno u otro caso, puede tomar medidas que amortigüen su generación.

No es objetivo de esta investigación determinar, medir o establecer procesos de remoción de GEI'S en el ámbito de generación consciente de GEI'S, mediante producción de bienes, servicios, y otros emprendimientos de origen humano, sino de la generación involuntaria, a través de residuos cloacales no tratados, los cuales son dispuestos en pozos ciegos y/o letrinas, o los colectados en diversas secciones de la red cloacal para su transporte, bombeo, proceso de depuración, o disposición final en cuerpo receptor, que generan emisiones difusas de gases de efecto invernadero ( $\text{CH}_4$  y en menor medida  $\text{N}_2\text{O}$ ).

El presente trabajo tiene por objeto cuantificar la relación entre la conexión de la población a una red cloacal, y la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, de origen biogénico.

Se estableció geográficamente, un grupo poblacional que en la actualidad no se encuentre conectado a la red cloacal, pero que se sabe en un periodo corto de tiempo, dispondrá del servicio de tratamiento cloacal<sup>2</sup>, y a su vez, se identificaron

los puntos donde una vez operativa la red, se podrán generar gases de efecto invernadero, desde la recolección de líquidos cloacales, hasta la disposición del efluente tratado en el cuerpo receptor.

Otro punto a considerar, es la elección de una metodología acorde y flexible a las necesidades sociales, geográficas y económicas que se ajusten a la región donde se realizará el estudio.

Se considera en el estudio las emisiones generadas por el consumo eléctrico necesario para operar las instalaciones descriptas.

Respecto de la selección del área geográfica del estudio, es importante describir uno de los “drivers” que influyeron en la selección del área.

### **La causa Mendoza<sup>3</sup>**

La causa caratulada “Mendoza Beatriz Silvia y otros c/ Estado Nacional y otros s/ daños y perjuicios (daños derivados de la Contaminación ambiental del Río Matanza - Riachuelo" (Expediente M. 1569. XL), se configura de la siguiente forma:

Actores: 17 vecinos de la Provincia de Buenos Aires y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Demandados: EN, CABA, PBA, 14 Municipios y 45 empresas, entre ellas, AySA, más terceros admitidos varios.

Respecto de la sentencia, la misma se dictó el 8/09/2008 donde la CSJN además incluye un programa de acciones a cumplir, dejando a discreción de la autoridad competente los medios para ello, y cuyos objetivos son:

1) la mejora de la calidad de vida de los habitantes.

2) la recomposición del ambiente.

3) la prevención de daños con suficiente y razonable grado de predicción.

Todo ello, se relaciona y fundamenta la temática del estudio.

Si bien existía un plan estratégico de AySA previo a la sentencia donde se incluyen las obras de infraestructura descritas a lo largo del estudio, la “Causa Mendoza” imprime una motivación extra al cumplimiento de dicho plan, particularmente en el área de saneamiento.

### **3 ESTADO DEL ARTE**

El Sol activa el clima de la Tierra, irradiando energía en longitud de ondas en todo el espectro pero predominantemente en la parte visible (por ejemplo amarillo) del espectro. Aproximadamente una tercera parte de la energía solar que alcanza la zona superior de la atmósfera terrestre se refleja directamente de nuevo al espacio.

Las dos restantes terceras partes son absorbidas/reflejadas por la superficie y, en menor magnitud, por la atmósfera.

Para equilibrar la energía entrante absorbida, la Tierra debe como promedio, irradiar la misma cantidad de energía al espacio.

La atmósfera, con la participación de las nubes, absorbe gran parte de esta radiación térmica emitida por los suelos y el océano y la vuelve a irradiar a la Tierra.

Esto es lo que se denomina efecto invernadero. Las paredes de vidrio (opacos a la radiación infrarroja) de los invernaderos impiden el flujo del aire e incrementan la temperatura del aire dentro.

De forma análoga, pero mediante un proceso físico diferente, el efecto invernadero de la Tierra calienta la superficie del planeta.

Sin el efecto invernadero natural, la temperatura promedio de la superficie terrestre estaría por debajo del punto de congelamiento del agua.

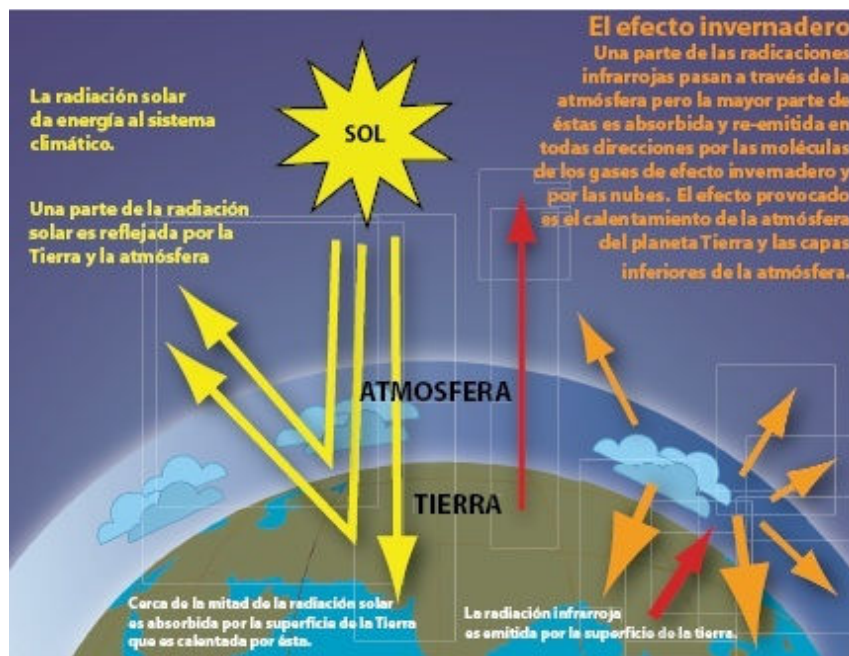
Por tanto, el efecto invernadero natural hace posible la vida tal como la conocemos.



Sin embargo, las actividades humanas, básicamente la quema de combustibles fósiles y la eliminación de bosques, han intensificado el efecto invernadero natural, dando lugar al calentamiento global<sup>4</sup>.

De acuerdo con la mayoría de la comunidad científica, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad humana.

El ciclo definido, puede observarse en detalle en la figura 1.



*Figura 1: Ciclo de efecto invernadero*<sup>5</sup>

Los gases a los que hace alusión la definición, son los conocidos como gases de efecto invernadero, que según la norma ISO 14.064 (norma que forma parte metodológica del presente estudio) son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto natural como antropogénico, que absorbe y emite radiación a

longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes<sup>6</sup>.

Cada uno de estos gases, tiene un potencial de calentamiento global específico (de aquí en adelante, PCG), para un horizonte de 100 años.

Este PCG publicado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (de aquí en adelante, IPCC, siglas en inglés), se refleja en la tabla 1, para los gases incluidos en el estudio (el resto de los gases se pueden consultar en el anexo 2, donde se presenta la tabla completa).

<b>GAS</b>	<b>Formula química</b>	<b>PCG</b>
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	25
Oxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	298

*Tabla 1: Gases de efecto invernadero estudiados y su potencial de calentamiento<sup>7</sup>.*

La presentación del IPCC, además de la tabla, incluye comentarios respecto de los cambios introducidos y diversas notas técnicas (Anexo 2).

Dicho potencial debe multiplicarse por la masa del GEI estudiado, para obtener la masa de dióxido de carbono equivalente.

Cuando se habla de emisión de gases de efecto invernadero, se refiere a la masa total de un GEI liberado a la atmósfera en un determinado periodo.

Los gases que se tendrán en cuenta en el presente estudio, son el dióxido de carbono, el metano, y el oxido nitroso.

Por otro lado, estos gases pueden ser emitidos tanto en situación de nulo proceso de saneamiento de efluentes como en el proceso de saneamiento de efluentes, pero en cantidades diferentes.

En una situación donde la población utiliza pozos ciegos, los efluentes cloacales quedan depositados en estos recintos, dándose en los mismos la degradación anaerobia del efluente, generando mayormente metano, mientras que en una situación de usuarios conectados a red de saneamiento, la producción de metano disminuye substancialmente pues la descomposición será aerobia, con aumento aunque en menor proporción (en términos de calentamiento global), el dióxido de carbono y el óxido nítrico, aunque se incluye la generación indirecta de GEI por producción de energía eléctrica necesaria para la depuración de efluentes cloacales.

Respecto de las metodologías a utilizar para realizar el recuento de GEI'S, se tendrán en cuenta las siguientes, para una posterior selección:

- GHG Protocol: Alianza de empresas, ONG's, gobiernos y otras entidades, concertadas por el Instituto de recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Mundial empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD). Sirve para cuantificar y gestionar las emisiones del sistema donde se aplique.

La metodología brinda una serie de herramientas digitales para realizar y controlar los cálculos<sup>8</sup>.

- ISO 14.064: La norma ISO 14.064 tienen como objetivo dar credibilidad y confiabilidad a los reportes de emisión de GEI y a las declaraciones de reducción o eliminación de GEI (en particular en el caso de empresas sometidas a obligaciones de reducciones de emisiones, en el marco del Protocolo de Kyoto, como por ejemplo el EU-ETS).

Abarcan desde la gestión de sistemas de reducción de GEI's, hasta el control de stocks de GEIS de formas diseñadas específicamente como reductores de GEIS, y para la auditoría de stocks de ambos casos, según el volumen que se tome (1,2 y 3)<sup>9</sup>.

- Bilan Carbone<sup>tm</sup>: Es el método de cálculo de emisiones de GEI desarrollado por la ADEME, organismo público francés.

Sus primeras versiones fueron implementadas en el 2004 y responde a los requisitos de los marcos metodológicos ISO 14.064 y GHG Protocol.

Se compone de tres factores, compañías, comunidades y territorios<sup>10</sup>.

- PAS 2050: PAS 2050 es una recomendación que describe el método para la medida de la emisión de GEI'S producidos en toda la cadena de producción de productos y servicios (huella de carbono).

Esta especificación ha sido desarrollada por British Standards Institution a requerimiento conjunto del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Medio Rural (Defra) en el Reino Unido y de la organización no-gubernamental Carbon Trust.

Está dedicado al cálculo de las emisiones de productos y servicios y responde a las normativas del ISO y del GHG protocol<sup>11</sup>.

- PAS 2060: El PAS 2060 fue elaborado en 2009-2010 por los mismos organismos que el PAS 2050.

Por otro lado, el PAS 2060 avanza un paso más hacia la neutralidad de carbono, lo cual significa no sólo compensar las emisiones calculadas sino un compromiso de reducción de dichas emisiones estableciendo

requerimientos, principios y técnicas para la verificación, compensación, reducción y neutralización de las emisiones GEI asociadas a cualquier organización o actividad.

La neutralidad de carbono puede demostrarse no sólo para los productos, sino también para el conjunto de la organización, proyectos, edificios, etc.

Responde a las normativas del ISO y del GHG Protocol<sup>12</sup>.

- IPCC 2006 GNGGI: Metodología elaborada por el Intergovernmental Panel on Climate Change.

Abarca la cuenta nacional de emisión de gases de efecto invernadero, identificado por sector, y por variables internas de cada sector. Provee metodologías de cálculo a todos sectores de la actividad antropogénica. Finalmente, se puede realizar el cálculo agregado de los resultados de todos los sectores que formen parte de la metodología<sup>13</sup>.

## 4 MÉTODOS y MATERIALES

El método seleccionado será la elección de una metodología de conteo de GEI'S, y la selección de diversas variables necesarias para aplicar la metodología.

La metodología seleccionada fue la del IPCC dado su enfoque sistémico a nivel nación (relaciona diversos sectores limitando la cobertura e incidencia de cada uno), su respaldo técnico-científico, y su condición de referente a nivel mundial en el tema, a nivel de realizar cambios mundialmente aceptados e incorporados a diversas metodologías, en aspectos clave como los valores de potencial de calentamiento global de los diversos gases en estudio, como se verá más adelante.

Los datos necesarios para alimentar los cálculos se desarrollarán a continuación:

### **Área Geográfica de Estudio**

La selección del área de estudio se basó en la relevancia de la temática ambiental en torno al fallo Mendoza, y las relaciones que la cobertura cloacal (o su ausencia) guarda con la temática del caso.

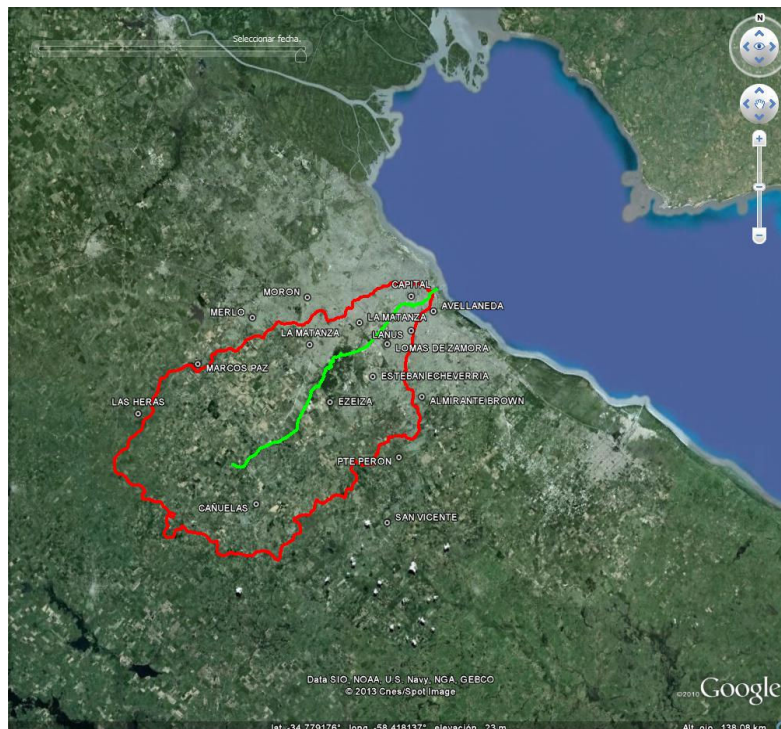
No obstante, se debe establecer un límite más preciso a la hora de mensurar las distintas variables.

El acotamiento del área quedara limitado por tres variables, la unión de la cuenca Matanza Riachuelo (figura 2), y el área de concesión de la empresa prestadora del servicio, AySA (figura 3). La tercera variable será la inclusión del concepto de desdoblamiento de cuencas actual, cuya aplicación dejará fuera del área de estudio a la CABA, incluso perteneciendo la misma físicamente a la cuenca.

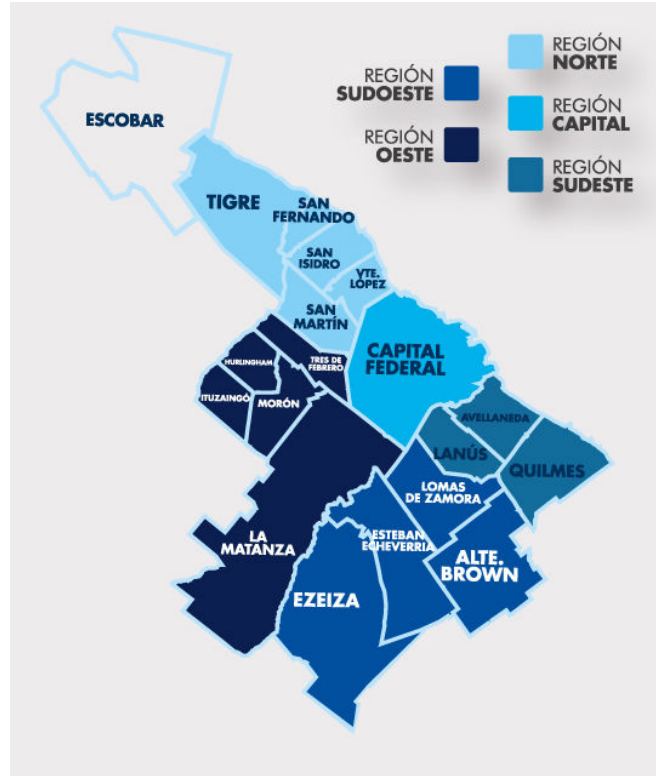
El aporte de hogares sin conexión cloacal de la CABA al estudio es menor al 1,2 %<sup>14</sup> del total analizado, por lo que dicha situación justifica su exclusión.

Los aportes del resto de los municipios son:

- Avellaneda: 5,80 %
- Esteban Echeverría: 10,80 %
- Ezeiza: 5,80 %
- La Matanza: 41,40 %
- Lanús: 14,55 %
- Lomas de Zamora: 20,45 %
- CABA: 1,20 %



*Figura 2: Ubicación espacial de la CMR.*

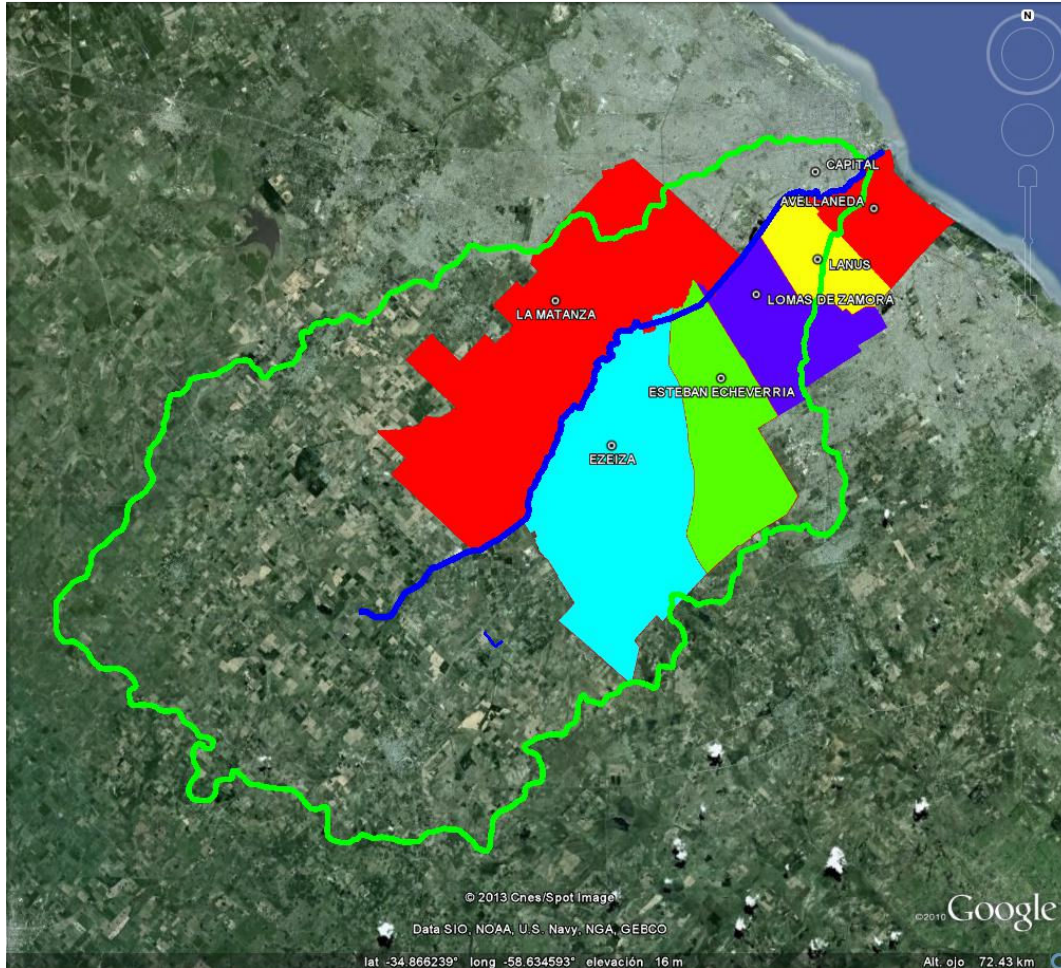


*Figura 3: Área de concesión de AySA<sup>15</sup>.*

Por lo expuesto, el cruce de estas tres variables delimita el área de estudio a los siguientes municipios (Figura 4):

La Matanza, Ezeiza, Esteban Echeverría, Lomas de Zamora, Lanús y Avellaneda.





*Figura 4: Municipios afectados al estudio.*

### **Configuración del sistema de saneamiento**

Respecto del sistema de saneamiento a considerar, cabe destacar que el mismo se encuentra en una etapa de cambios, insertos en el plan estratégico de AySA, y su plan Director.

El sistema de saneamiento cloacal actualmente está organizado en base a cinco plantas depuradoras, Norte, Hurlingham, Sudoeste, El Jaguel y Wilde (que en rigor es una estación elevadora con pretratamiento) (figura. 5).

Planta Norte y Planta Hurlingham vuelcan sus efluentes tratados en el río Reconquista.

Las plantas Sudoeste y El Jagüel, desembocan en el río Matanza Riachuelo, a través de tributarios del mismo.



Figura 5: Plantas de Saneamiento Cloacal de AySA<sup>16</sup>.

El resto de los efluentes, asociados a la cuenca Wilde-Berazategui, son colectados por un sistema de colectores y tres cloacas máximas, y se dirigen al establecimiento Wilde, donde además se suma la cuarta cloaca máxima, y de allí, se dirigen al emisario Berazategui, descargando finalmente los efluentes tratados en el Río de la Plata.

### Desdoblamiento

El Plan Director de AySA contempla el desdoblamiento de la cuenca Wilde-Berazategui.

Dicho desdoblamiento, dejaría al sistema cloacal de la concesión de AySA, diagramado de la siguiente forma:

Cuenca Capital: Absorberá parte del caudal de la 1°, 2° y 3° cloaca máxima, interceptadas en le área de la CABA por el colector margen izquierdo, pasando luego por debajo del Riachuelo vía el colector bajo costanera, terminando en la nueva planta Riachuelo.

Sus efluentes tratados se transportaran a través de un emisario al Río de la Plata.

La cuenca Berazategui, que colectará los efluentes que llegan al establecimiento Wilde, terminando en la planta Berazategui, con su emisario al Río de la Plata.

Se suman dos plantas a la cuenca, Fiorito y Lanús, que vuelcan sus efluentes en el río Matanza Riachuelo.

Los efluentes tratados en las plantas Sudoeste y El Jagüel, que actualmente están incorporando módulos de expansión, desembocan en el Río Matanza Riachuelo, a través de tributarios del mismo.

Planta Norte y Hurlingham continuarán con el actual régimen, volcando los efluentes tratados sobre el río Reconquista.

En base a este nuevo esquema de planteo sanitario, a los datos geográficos de cuenca y a los datos concesión y división política del área, las plantas a tener en cuenta en el siguiente estudio (figura 6) son Fiorito, Lanús, Sudoeste (y expansión), El Jagüel (y expansión), y Del Bicentenario (Berazategui).



*Figura 6: Ubicación en la cuenca de las plantas afectadas al estudio.*

### **Población sujeta al estudio**

Una vez seleccionadas las plantas y el área de estudio, podemos mensurar la población que habita la zona, y que proporción de la misma cuenta con servicio de cloaca y pozos ciegos/letrinas.

Según datos del INDEC, los partidos de la cuenca que se han seleccionado, cuentan con 3.658.716 habitantes, y 1.066.928 hogares, de los cuales 436.060 cuentan con servicio de cloaca.

Relacionando los dos datos proporcionados por el organismo, obtenemos un promedio de 3,4292 habitantes por hogar.



Con este último valor y relacionándolo con la cantidad de hogares con servicio cloacal, se calculó que los habitantes cubiertos por dicho servicio ascienden a 1.495.340.

La población sin servicio, será cubierta con expansiones de dos plantas, y la construcción de tres más, mencionadas anteriormente<sup>17</sup>.

### **Evolución de habitantes cubiertos por el sistema**

Esquemáticamente, el crecimiento de servicio cloacal en función de la entrada en operación de las distintas plantas, nos marca un sendero descendente de habitantes asociado a la utilización de pozos ciegos y letrinas (tabla 2).

Escenarios	Expansión Planta Sudoeste	Expansión planta El Jagüel	Planta Lanús	Planta Fiorito	Planta del Bicentenario
Habitantes sin servicio cloacal	2.163.376	1.820.176	1.220.176	1.160.176	890.176
Cobertura en habitantes <sup>18</sup>	343.200	600.000	60.000	270.000	4.000.000

*Tabla 2: Evolución de los usuarios con servicio cloacal.*

La elección del momento en que entra en funcionamiento cada planta está basado en dos factores, el primero, fueron las dos plantas a las que se le realizaron expansiones, siendo Sudoeste la primera dado que actualmente está en funcionamiento, y la expansión de la planta El Jagüel se encuentra en obra a la fecha.

Respecto de las plantas Fiorito y Lanús, las mismas se encuentran a la fecha en fase constructiva.

El segundo es el caso de la planta del Bicentenario, dado que si bien se encuentra a la fecha en la etapa final de construcción, el tiempo necesario para ponerla en

régimen es largo, superior a la de las otras cuatro plantas, y no exenta de mayores complicaciones, razón por la cual se estima comenzará a operar en último lugar.

### Sistema de tratamiento

Respecto de las características técnicas de las plantas seleccionadas, las mismas pueden observarse en la tabla 3.

Tratamiento	Planta	Del Bicentenario	Sudoeste (expansión)	El Jagüel (expansión)	Fiorito	Lanús
	Proceso					
Primario	Rejas	x	x	x	x	x
Primario	Tamices	x	x	x	x	
Primario	Desarenadores	x	x	x		x
Primario	Desengrasadores	x	x	x		
Primario	Sedimentador primario		x	x	x	
Primario	Cloración desinfección		x			x
Secundario	Sedimentador secundario		x	x		
Secundario	Reactor biológico (aire)			x	x	x
Secundario	Lechos bacterianos		x			
Secundario	Clarificador		x		x	x
Secundario	Digestor		x			
Secundario	Gasómetro		x			
Secundario	Deshidratación de lodos					x
Secundario	Lechos de nitrificación			x		

*Tabla 3: Tipo de tratamiento por planta (Datos extraídos de EIA's correspondientes).*

Los datos fueron extraídos de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) de cada planta, específicamente de los diagramas de proceso. Cabe destacar que se agregan los mismos como información general, pero sin impacto directo en el cálculo por las hipótesis que se adoptarán. (Figuras 7, 8, 9, 10 y 11).

Los distintos procesos mencionados, son descriptos por Metcalf y Eddy, en su libro "Wastewater engineering: treatment & reuse".

### **Rejas y tamices<sup>19</sup>:**

La primera unidad operativa que generalmente se encuentra en las plantas de tratamiento de aguas residuales son las rejas y tamices.

Una reja o tamiz es un dispositivo con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener los sólidos que se encuentran en las aguas residuales afluentes a la planta de tratamiento o en sistemas de recolección de aguas residuales combinadas sujetas a desbordamientos, especialmente de las aguas de lluvia.

El papel principal de las rejas y tamices es eliminar los materiales gruesos de la corriente que podría (1) dañar equipos de subsiguientes procesos, (2) reducir la capacidad del tratamiento y la fiabilidad del proceso, o (3) contaminar las vías fluviales.

Los tamices se utilizan a veces en lugar de o después de rejas gruesas donde se requiere una mayor extracción de sólidos (1) para proteger los equipos de proceso, o (2) eliminar materiales que pueden inhibir la reutilización beneficiarios de biosólidos.

### **Desarenador<sup>19</sup>:**

La eliminación de arenas de las aguas residuales puede llevarse a cabo en la cámara desarenadora.

Las cámaras desarenadoras están diseñados para eliminar sólidos, compuestos de arena, grava, u otros materiales sólidos pesados.

Se localizan con mayor frecuencia después de los de reja y antes de los procesos primarios

**Desengrasador<sup>19</sup>:**

Las grasas, los aceites y los jabones, tienden a recubrir superficies físicas de los distintos procesos. Los mismos interfieren con la acción biológica y causan problemas de mantenimiento.

**Sedimentador primario<sup>19</sup>:**

El objetivo del tratamiento primario por sedimentación es eliminar los sólidos sedimentables y el material flotante y por lo tanto reducir el contenido de sólidos en suspensión.

La sedimentación primaria se utiliza como un paso preliminar para el posterior procesamiento de las aguas residuales.

**Desinfección<sup>19</sup>:**

La desinfección se refiere a la destrucción parcial de los organismos causantes de enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso.

El hecho de que no todos los organismos son destruidos diferencia a la desinfección de la esterilización, que es la destrucción de todos los organismos.

La desinfección se lleva a cabo mayormente por el uso de (1) los agentes químicos, (2) los agentes físicos, (3) medios mecánicos. y (4) la radiación.

**Reactor aeróbico<sup>19</sup> (biológico):**

La digestión aeróbica puede ser utilizada para tratar (1) solamente lodos activados, (2) las mezclas de lodos residuales o lodo activado y lodo primario, o (3) los lodos residuales de las plantas de aireación extendida.



**Lecho bacteriano<sup>19</sup>, (filtro percolador):**

Los filtros percoladores se han utilizado para proporcionar tratamiento biológico de las aguas residuales municipales e industriales, por casi 100 años.

Los lechos percoladores consisten en un reactor biológico fijo no sumergido, utilizando roca o estructura de plástico en la que las aguas residuales se distribuyen continuamente.

El tratamiento se produce cuando el líquido fluye a través de la biopelícula formada en el soporte del filtro.

**Digestor anaeróbico<sup>19</sup>:**

La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos utilizados para la estabilización de los sólidos y los biosólidos.

Como se describe en el cap. 10, la digestión anaerobia implica la descomposición de la materia orgánica y la materia inorgánica (principalmente sulfato) en la ausencia de oxígeno molecular.

Debido al énfasis en la conservación de energía y la recuperación y la importancia de obtener el uso beneficioso de los biosólidos de aguas residuales, la digestión anaeróbica sigue siendo el proceso dominante para la estabilización de los lodos.

Además, la digestión anaerobia de lodos de aguas residuales municipales puede, en muchos casos, producir suficiente gas de digestor para satisfacer la mayor parte de las necesidades energéticas para el funcionamiento de la planta.

**Gasómetro<sup>19</sup>:**

Recolección de gas de digestores (anaeróbicos)

**Deshidratador<sup>19</sup>:**

La deshidratación es una operación de la unidad física utilizada para reducir el contenido de humedad de los lodos y biosólidos.

**Denitrificación Biológica<sup>19</sup>:**

El proceso consiste en un tanque anóxico seguido de la aireación en un tanque donde ocurre la nitrificación.

El nitrato producido en el tanque de aireación es recirculado nuevamente al tanque anóxico.

Además, debido a que el proceso de anóxia precede al tanque de aireación, el proceso se conoce como un denitrificación preanóxica.

## Planta Depuradora El Jagüel

Diagrama de flujo

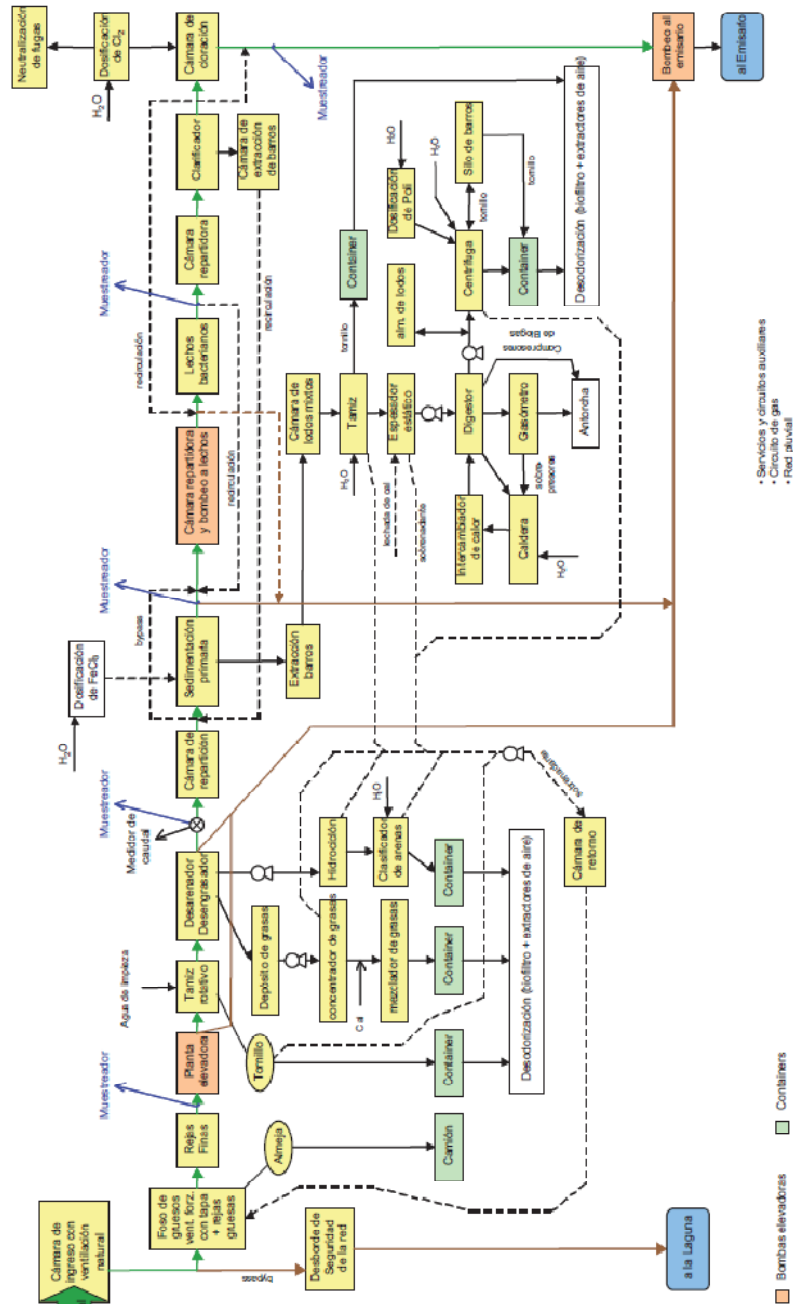


Figura 7: Proceso de planta "El Jagüel"<sup>20</sup>.

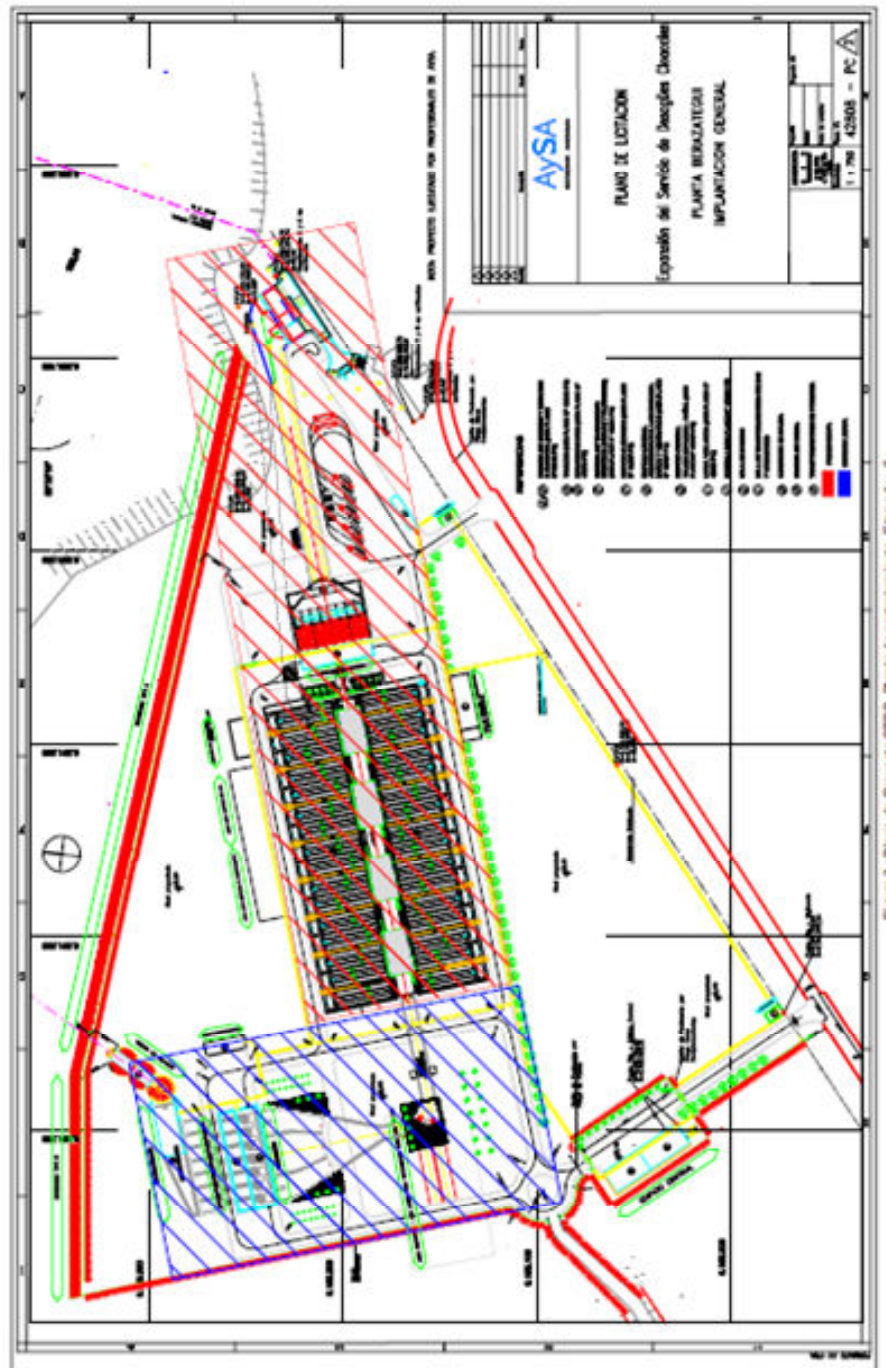


Figura 8: Planta Depuradora “Del Bicentenario”<sup>21</sup>.



Diagrama de Funcionamiento Planta Depuradora de Líquidos Cloacales Lanús

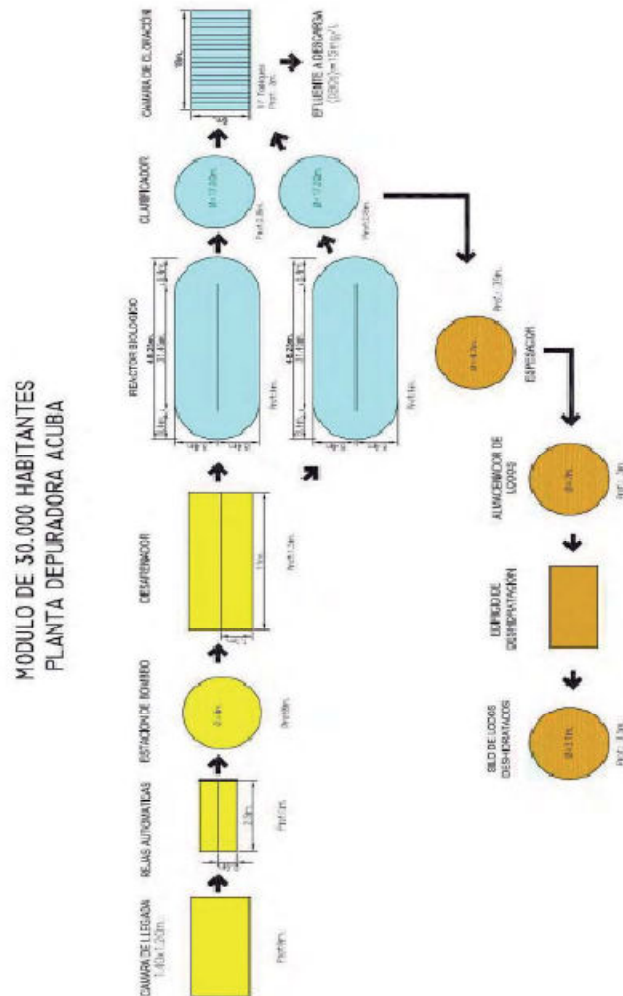


Figura 9: Planta de proceso de planta depuradora "Lanús"<sup>22</sup>.

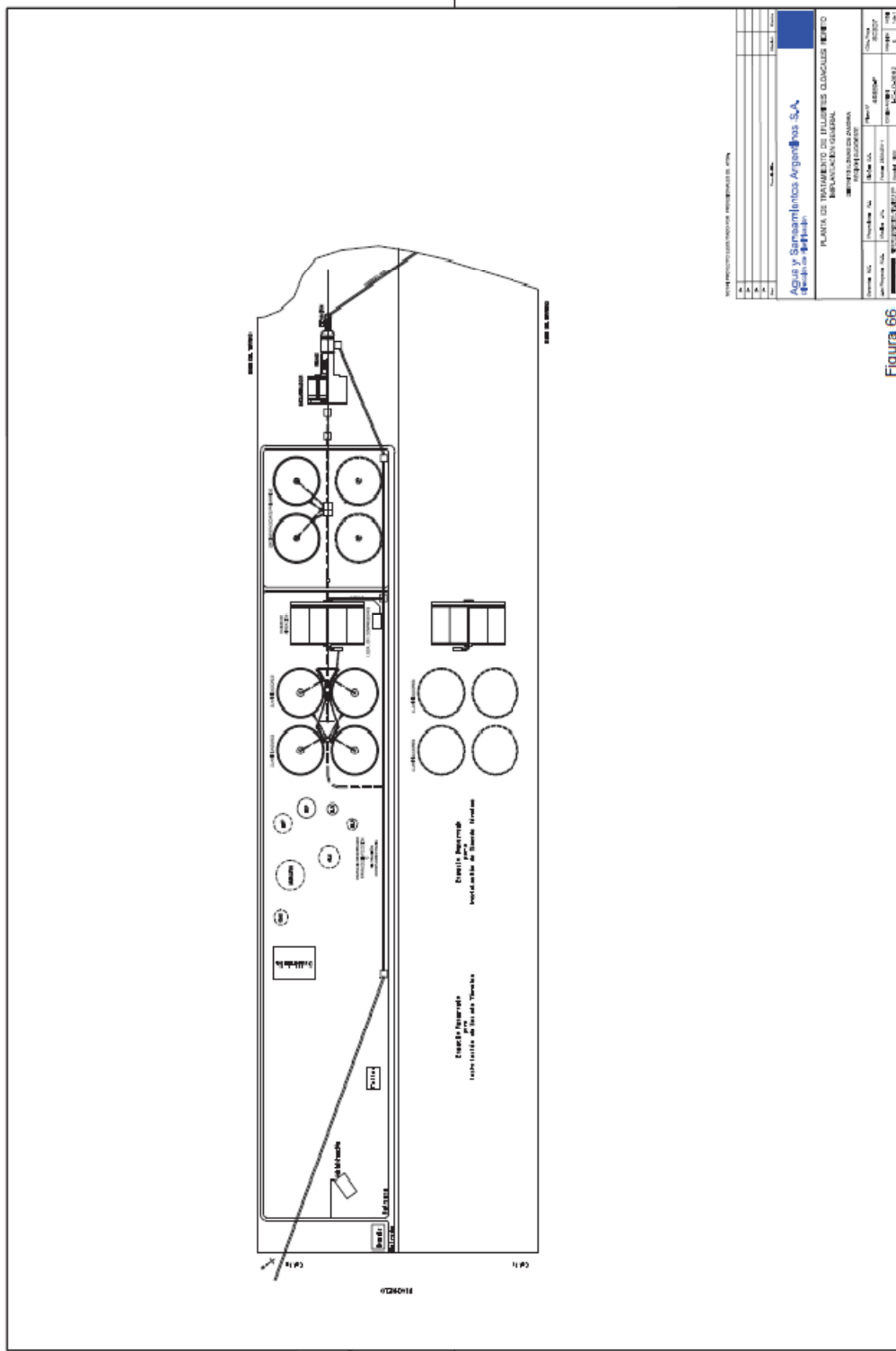


Figura 10: Lay out de planta "Fiorito"<sup>23</sup>.

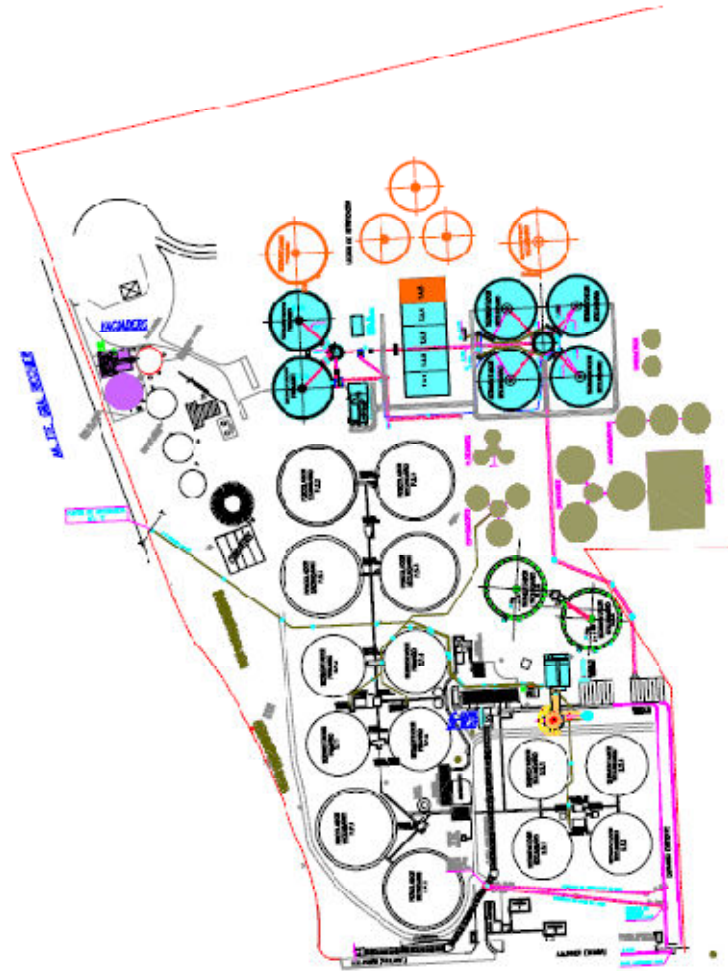


Figura 3: Configuración futura de la PDSO

Figura 11: Tratamientos incluidos en expansión de planta Sudoeste<sup>24</sup>.

Un dato importante es el consumo de proteínas de la población en estudio.

Dicho valor, si bien hay valores por defecto en la metodología, se puede obtener de la FAO, la cual lleva adelante estadísticas específicas de cada país, por lo que la utilización de dicho valor volverá más representativo el resultado del estudio.

La metodología seleccionada recomienda la utilización de estas cifras como “buena práctica”.

Específicamente, se utilizan los valores de proteínas consumidas en Argentina, del sitio de consultas web de la FAO<sup>25</sup> (92,8 g/persona/día).



## **5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De las metodologías descriptas en el capítulo anterior, optaremos para su aplicación al caso de estudio la metodología más reciente del IPCC<sup>26</sup>, puntualmente el capítulo seis del volumen cinco (desechos), que trabaja la temática del tratamiento y eliminación de aguas residuales y presenta factores de emisión por defecto.

Haremos un recorrido sobre la metodología seleccionada a modo de descripción y posteriormente esbozaremos las razones por las cuales fue seleccionada.

Orgánicamente, se encuentra estructurada de la siguiente forma:

Una primera parte, donde se realiza una introducción al sector (tratamiento de aguas residuales) desde su generación, tratamiento y eliminación, los GEI'S resultantes de la actividad, una descripción somera de las características de comportamiento y generación del metano ( $\text{CH}_4$ ) y del óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en el sistema, y también se realizan unos comentarios sobre los cambios efectuados en la metodología respecto de su versión del año 1996<sup>27</sup>.

La segunda parte estudia las emisiones de  $\text{CH}_4$  provenientes de las aguas residuales.

Aquí se aborda en profundidad la generación de  $\text{CH}_4$  en los sistemas domiciliarios e industriales, como la aproximación metodológica.

La tercera y última parte, contiene la aproximación metodológica para incorporar al balance de gases las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  provenientes de aguas residuales.

Finalmente, se especifican cuestiones a tener en cuenta sobre coherencia de series temporales, fiabilidad de las variables utilizadas, tener en cuenta a la hora de generar informes y documentación, la profundidad de los mismos.

En base a la estructura descripta, se describirá cada punto.

Dicha descripción regirá el desarrollo del trabajo.

Como primera aclaración de la metodología, se especifica que los GEI'S a considerar serán el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{N}_2\text{O}$ , dejando de lado las emisiones directas de  $\text{CO}_2$ , dado su origen biogénico.

El origen de los efluentes puede ser residencial, comercial o industrial, y dichos efluentes pueden tratarse in situ (no recolectadas), eliminarse sin tratamiento en las cercanías vía alcantarilla en un cuerpo de agua, o transportarlas por una red cloacal a una planta de tratamiento de efluentes.

Los sistemas de tratamiento y eliminación varían de un país a otro, como entre usuarios urbanos y rurales, y de usuarios de altos a bajos niveles de ingreso.

Los sistemas de transporte de líquido cloacal pueden ser abiertos o cerrados. Será abierto en zonas rurales o de bajos ingresos, mientras que en zonas urbanas y de alto poder adquisitivo predominan los sistemas de transporte cloacal cerrados y subterráneos.

Estos últimos no son considerados como fuentes importantes de emisiones de  $\text{CH}_4$ , mientras que los sistemas abiertos de transporte de líquidos cloacal al estar expuestos al sol y al poder estancarse permiten el desarrollo de condiciones de anaerobismo, generándose emisiones de  $\text{CH}_4$ <sup>28</sup>.

Las técnicas más difundidas en los países desarrollados para tratamiento de efluentes residenciales e industriales, incluyen el tratamiento aeróbico y lagunas.

En la Figura 12 se presentan diferentes vías de tratamiento y eliminación de las aguas residuales.

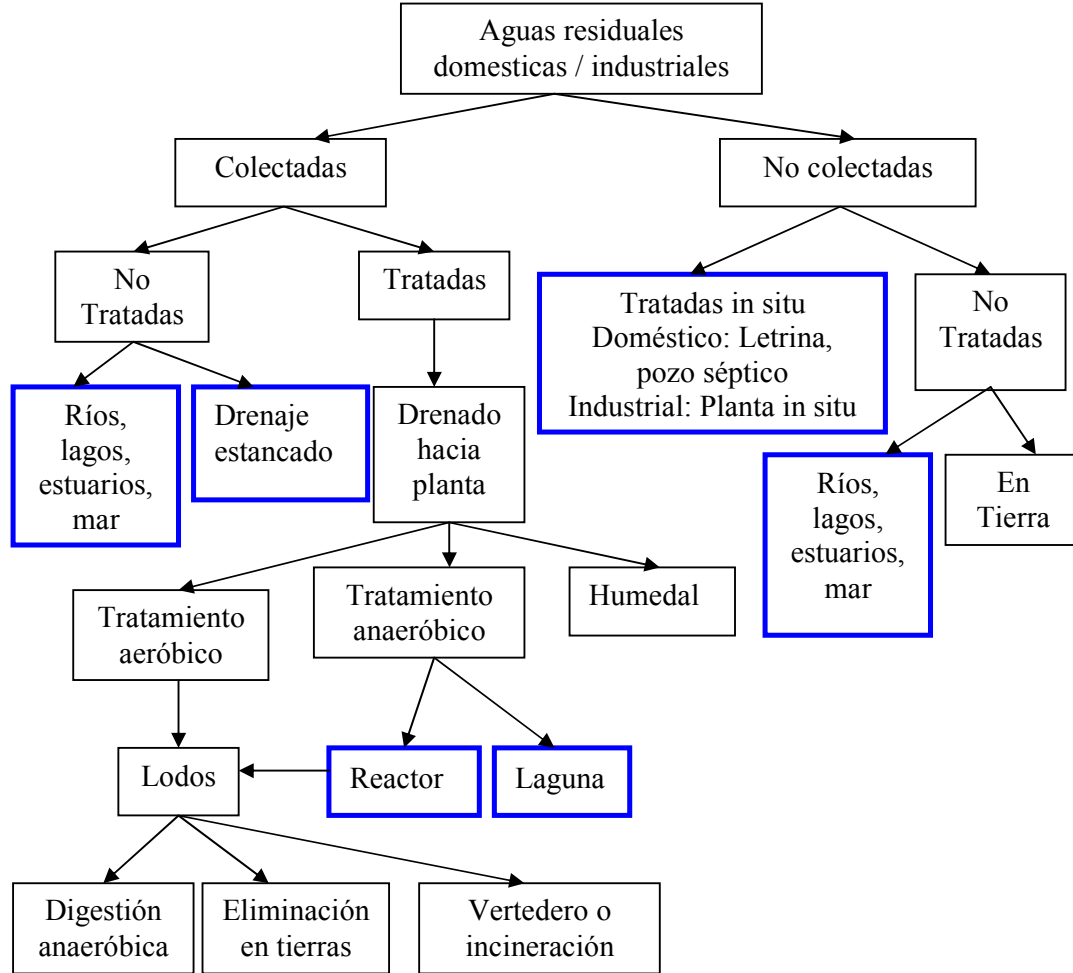


Figura 12: Tratamiento y vías de eliminación de las aguas residuales.

Dentro de dicha figura, se bordean en color azul las que serán estudiadas, siendo las mismas:

- Para las aguas residuales colectadas: las aguas no tratadas y conducidas a ríos, estuarios o mares, o las estancadas; y para las tratadas, las que se tratan anaeróbicamente en lagunas o reactores.
- Para las no colectadas: las dispuestas in situ vía pozos ciegos o letrinas y las aguas industriales tratadas, y las no tratadas dispuestas en lagos, ríos, estuarios o mares.

Respecto de los gases de efecto invernadero generados en la actividad, trabajaremos sobre:

El **metano** ( $\text{CH}_4$ ), el cual se produce en condiciones de anaerobismo.

La cantidad del mismo depende de la materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales, su temperatura y tipo de tratamiento.

La temperatura es un factor importante para la generación del gas.

Para la producción significativa del mismo, se requiere una temperatura mayor de  $15^\circ\text{C}^{29}$ .

Sin embargo, la materia orgánica degradable es el factor determinante.

La misma se mide con la demanda bioquímica de oxígeno, la DBO, y de la demanda químico de oxígeno, la DQO.

En la medida que hallemos mayor concentración de ambas, mayor  $\text{CH}_4$  se generará.

La concentración de DBO indica la cantidad de carbono biodegradable en condiciones aeróbicas, y la DQO se refiere a la materia disponible para oxidación química, tanto degradable como no degradable.

Los parámetros usuales para medir el componente orgánico de las aguas residuales son la demanda bioquímica de oxígeno (BOD, del inglés, en *Biochemical Oxygen Demand*) y la demanda químico de oxígeno (COD, del inglés, en *Chemical Oxygen Demand*).

En las mismas condiciones, las aguas residuales con mayor concentración de DQO o DBO, producen, en general, más  $\text{CH}_4$  que las de menor concentración de DQO (o DBO).

La concentración de DBO sólo indica la cantidad de carbono biodegradable en condiciones aeróbicas.

La medición estándar para el DBO es una prueba de 5 días, conocida como DBO5.

El término DBO utilizado corresponde al DBO5.

La DQO mide el total de materia disponible para oxidación química (tanto biodegradable como no-biodegradable).

Puesto que la DBO es un parámetro aeróbico, puede resultar menos apropiado para la determinación de los componentes orgánicos en medios anaeróbicos.

Es decir, es menos representativa en medios anaeróbicos.

Además, tanto el tipo de aguas residuales como el tipo de bacterias presentes en ellas influyen sobre la concentración de DBO en las aguas residuales.

Normalmente, el DBO se declara más a menudo para el caso de las aguas servidas domésticas, mientras que el DQO se utiliza de preferencia para las aguas residuales industriales.

El **óxido Nitroso** ( $N_2O$ ) es un gas asociado a la degradación de compuestos nitrogenados en aguas residuales como ser: urea, nitratos y proteínas.

Los residuales residenciales incluyen desechos humanos mezclados con drenajes de duchas, lavadoras, lavados de vajillas, etc.

Se puede generar óxido nitroso en los procesos de nitrificación y desnitrificación del nitrógeno presente.

La nitrificación es un proceso aeróbico que convierte amoníaco y otros compuestos nitrogenados en nitrato ( $NO_3^-$ ) mientras que la desnitrificación se produce en ausencia de oxígeno libre, e implica la conversión biológica del nitrato en gas nitrógeno ( $N_2$ ).

El mismo puede darse en la planta de tratamiento, o en cuerpo receptor del efluente.

La nitrificación puede ser un producto intermedio entre ambos procesos, pero más bien asociado a procesos de desnitrificación.

### Sistemas de tratamiento y su potencial de generación de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O

Se presenta en el cuadro 1 donde podemos observar que sitios de una red de saneamiento son posibles generadores de cada uno de los gases de efecto invernadero en estudio.

Allí identificaremos los sitios a mensurar.

Cuadro 1: Potenciales de emisión de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O para sistemas de tratamiento y eliminación de aguas y lodos residuales				
Tipo de tratamiento y eliminación			Potenciales de emisión de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O	
Recolectadas	No tratadas	Eliminación en ríos		Ríos y lagos estancados y pobres en oxígeno pueden permitir la descomposición anaeróbica que produzca CH <sub>4</sub> . Ríos, lagos y estuarios son probables fuentes de N <sub>2</sub> O.
		Alcantarillas (cerradas y subterráneas)		No son fuentes de CH <sub>4</sub> /N <sub>2</sub> O
		Alcantarillas (abiertas)		Las cloacas o alcantarillas abiertas, acequias o los canales abiertos, sobrecargados y estancados suelen ser fuentes significativas de CH <sub>4</sub>
	Tratadas	Tratamiento aeróbico	Plantas de tratamiento centralizado aeróbico de aguas servidas	Pueden producir poco CH <sub>4</sub> en bolsones anaeróbicos. Los sistemas de tratamiento mal diseñados o gestionados producen CH <sub>4</sub> . Las plantas avanzadas con eliminación de nutrientes (nitrificación y desnitrificación) son pequeñas, pero fuentes bien diferenciadas de N <sub>2</sub> O.
			Tratamiento anaeróbico de los lodos en plantas centralizadas de tratamiento de aguas residuales	El lodo puede ser una importante fuente de CH <sub>4</sub> si el CH <sub>4</sub> emitido no se recupera ni se quema en antorcha.
			Pozas aeróbicas poco profundas	Fuente poco probable de CH <sub>4</sub> y/o N <sub>2</sub> O Los sistemas de tratamiento mal diseñados o mal gestionados producen CH <sub>4</sub> .
		Tratamiento anaeróbico	Lagunas anaeróbicas	Fuente probable de CH <sub>4</sub> No es fuente de N <sub>2</sub> O.
			Reactores anaeróbicos	Puede ser una importante fuente de CH <sub>4</sub> si el CH <sub>4</sub> emitido no se recupera ni se quema en antorcha.
No recolectadas	Pozo séptico		La separación frecuente de los sólidos reduce la producción de CH <sub>4</sub>	
	Pozos abiertos y/o letrinas		Los pozos y/o letrinas suelen producir CH <sub>4</sub> cuando la temperatura y el tiempo de retención son favorables	
	Eliminación en ríos		Véase arriba.	

Respecto de los cambios de las directrices de 1996 y la orientación sobre las buenas prácticas, la misma presentaba ecuaciones por separado para las aguas residuales y los lodos por ellas generados.

La separación mencionada fue eliminada en la más reciente versión (IPCC 2006 GNGGI), ya que las capacidades de generación de  $\text{CH}_4$  de los lodos y de las aguas residuales con sustancias orgánicas disueltas son las mismas y no requieren dicha separación.

La versión del 2006 incluye la estimación de  $\text{CH}_4$  en aguas no recolectadas, parte fundamental en este estudio, como así también para el cálculo de  $\text{N}_2\text{O}$  en plantas de tratamiento.

También simplifica el caso de las aguas industriales, al tratarse solo las fuentes significativas.

A continuación, describiremos la segunda parte de la metodología:

En lo concerniente a las emisiones de metano provenientes de aguas residuales, el capítulo del IPCC comienza describiendo las cuestiones metodológicas.

Como foco de principal atención en este aspecto, se remarca que las emisiones dependen de la cantidad de desechos orgánicos generados y de un factor de emisión que caracteriza la proporción en que dichos desechos generan  $\text{CH}_4$  (que es afectada principalmente por la temperatura y también otras condiciones).

Y continua describiendo, los tres niveles metodológicos para estimar el  $\text{CH}_4$  propio de esta categoría.

El método nivel uno, es considerado de “buena práctica” para los países con escasos datos, ya que aplica valores por defecto para factor de emisión y parámetros de actividad.

La baja cantidad de datos implica un cálculo conservador.

El método nivel dos continúa la lógica del nivel uno, pero deja abierta la posibilidad de incorporar datos específicos del país, tanto del factor de emisión, como de los datos de actividad propios del país. Dicha incorporación torna más exacto el cálculo.

Para un nivel tres, estamos hablando de un país que cuente con metodologías de cálculo avanzadas y buenos datos. Dicha calidad mejora ostensiblemente el cálculo.

En la medida que se posean datos más específicos de cada parte del sistema más consistente será el análisis final.

A continuación, la metodología menciona distintas posibilidades respecto de algunos detalles que surgen de cada sistema de tratamiento.

Por ejemplo, para el caso de contar la planta con reactores anaeróbicos, si el  $\text{CH}_4$  generado se transforma en energía eléctrica o se quema en una antorcha, debería ser restado del total de emisiones, por ser el mismo recuperado o destruido.

Dicha situación se contempla en la ecuación 1 como “R”.

La metodología contempla que es difícil que todos los países cuenten con información sobre si su sistema separa lodos o recupera metano, por lo cual presenta datos por defecto, siendo para ambos ejemplos, cero.

A la vez, la metodología remarca que es buena práctica distinguir entre  $\text{CH}_4$  quemado y reutilizado, ya que el uso energético debería contabilizarse en el “sector energía”, y evitar la doble contabilidad.



Se consideran insignificativas las emisiones provenientes de antorcha, dado que el  $\text{CO}_2$  se considera de origen biogénico, y las de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  son muy pequeñas, por lo que el sector desechos como “buena práctica” no exige su estimación.

Esto se verifica siempre y cuando la antorcha tenga una alta eficiencia.

De observarse bajas eficiencias, puede seguirse la sugerencia de la metodología respecto de contabilizar las emisiones.

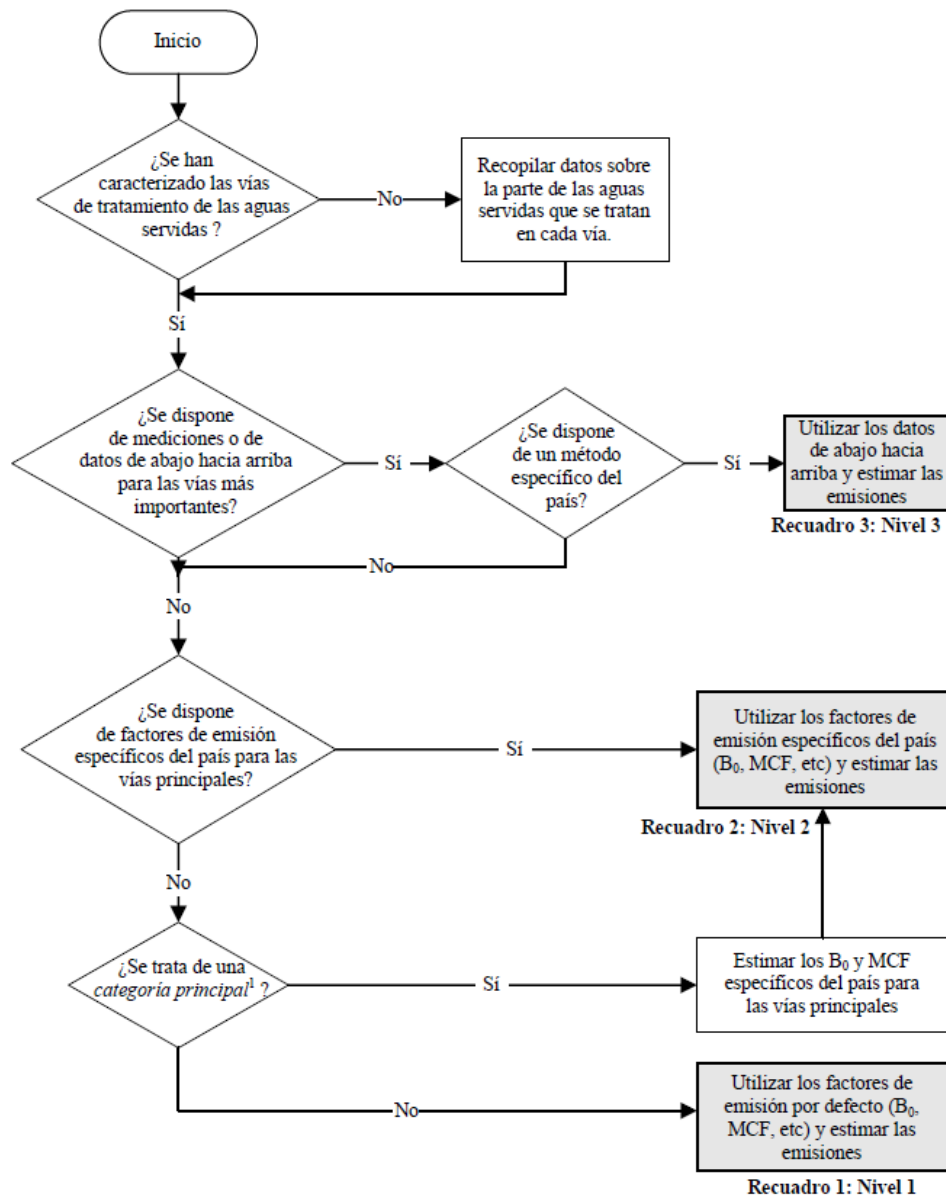
Si se quisiera contabilizar, la metodología lo permite, basándose en el volumen dos (energía) de la metodología.

Para nivel uno, no se exige la contabilización de emisiones de quema de antorcha.

El siguiente punto que trata la metodología corresponde a la elección del método.

Para ello, se provee de un árbol de decisión, en la figura 13.

**Figura 6.2**      **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales domésticas**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

*Figura 13: Árbol de decisión de niveles metodológicos, extraído de la metodología del*

*IPCC para cálculo de emisiones, versión 2006.* <sup>29</sup>.

La elección del nivel a utilizar es independiente de los pasos a seguir en el cálculo.

Lo que varía de uno a otro nivel es el origen de los datos, que puede ser proporcionado por la metodología o tomados de los datos del país donde se aplique la metodología.

La metodología explica que los pasos para la preparación del inventario son:

**Paso 1:** Utilizar la ecuación 3 para estimar el TOW (Total Organic Waste, residuos orgánicos totales).

**Paso 2:** Elegir vías y sistemas (fig. 12) según los datos de actividad del país.

Utilizar la ecuación 2 para obtener el factor de emisión para cada vía o sistema de tratamiento de aguas.

**Paso 3:** Utilizar la ecuación 1 para estimar las emisiones, realizar ajustes para eventuales separaciones de lodos y/o recuperaciones de  $\text{CH}_4$ , y sumar resultados para cada vía/sistema.

La caracterización de las aguas cloacales determinará la fracción de las aguas a tratar o eliminadas por un sistema en particular.

Esto es, identificar el tratamiento que se le aplica actualmente a las aguas servidas.

Para determinar cada tipo de tratamiento, es buena práctica referirse a estadísticas nacionales.

Si esos datos no existieren, se debe recurrir a organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS).

A su vez se suele recurrir a expertos en el tema o a sus dictámenes.

También se considera buena práctica abreviar en estadísticas de urbanización.

Es muy importante determinar si se separan lodos, para no incorporarlos al conteo, y si se utilizan valores por defecto, las emisiones del agua servida y de los lodos deben estimarse en conjunto.

Independientemente de como se traten los lodos, es importante que las emisiones de lodos eliminados en rellenos, incinerados o utilizados en agricultura, no sean incluidas en el conteo.

Debe ser coherente este dato con el de la ecuación para todos los sectores y categorías adicionales al de la cuenta saneamiento.

Es decir, lo que se descuenta de esta ecuación, debe sumarse en el conteo de emisiones de otro sector (ej, emisiones en agricultura, o residuos sólidos, etc).

Como existen diferencias entre los sistemas de tratamiento entre sector rural y urbano, y a su vez, entre población de alto y bajo poder adquisitivo, se introduce en la ecuación un factor para expresar estos niveles, el factor “U”.

La utilización de este factor es considerada como buena practica.

A continuación se presenta la ecuación 1 para la estimación de emisiones de líquidos cloacales domésticos.

**Ecuación 1**  
**Emisiones totales de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales domésticas**

$$Emisiones\ de\ CH_4 = [\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j)] (TOW - S) - R$$

Donde:

**Emisiones de CH<sub>4</sub>** = emisiones de CH<sub>4</sub> durante el año del inventario, kg. de CH<sub>4</sub>/año

**TOW** = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg. de DBO/año

**S** = componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg. de DBO/año

$U_i$  = fracción de la población del grupo de ingresos  $i$  en el año de inventario, véase el cuadro 5.

$T_{ij}$  = grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación  $j$ , para cada fracción de grupo de ingresos  $i$  en el año del inventario, véase el cuadro 5.

$i$  = grupo de ingresos: rural, urbano de altos ingresos y urbano de bajos ingresos.

$j$  = cada vía o sistema de tratamiento/eliminación.

$EF_j$  = factor de emisión, kg. de  $CH_4$ /kg. de DBO.

$R$  = cantidad de  $CH_4$  recuperada durante el año del inventario, kg. de  $CH_4$ /año.

En cuanto a la elección del factor de emisión el mismo es una función del potencial máximo de producción ( $B_0$ ) de  $CH_4$  y del factor de corrección para el metano (MCF) para el sistema de tratamiento y eliminación de aguas residuales (ecuación 2).

El MCF surge de valores por defecto, con un intervalo para ajustar a cada realidad, donde se tiene en cuenta diversas variables, como si es tratado (letrinas, plantas de tratamiento, digestor, lagunas, o reactor) o no tratados (cloaca estancada, en movimiento, o eliminado en cuerpos receptores).

“ $B_0$ ” corresponde a la cantidad máxima de  $CH_4$  que puede generarse en base a una cantidad de sustancias orgánicas (como lo expresan la DBO y la DQO) contenidas en aguas servidas.

El MCF es una medida del indicio de la presencia de un sistema anaeróbico.

**Ecuación 2**  
**Factor de emisión de  $CH_4$  para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación de aguas residuales domésticas**

$$EF_i = B_0 \cdot MCF_j$$

Donde:

**EF<sub>j</sub>** = factor de emisión, kg. de CH<sub>4</sub>/kg. de DBO.

**j** = cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación.

**B<sub>0</sub>** = capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub>, kg. de CH<sub>4</sub>/kg. de DQO.

**MCF<sub>j</sub>** = factor corrector para el metano (fracción) (véase el Cuadro 3).

Es considerado como buena práctica aplicar los valores específicos de cada país, dado que los resultados reflejan más fielmente la realidad del país.

La utilización de dichos valores implica acercar los resultados a la realidad del país donde se realiza el conteo.

De no ser posible, se aplican los valores por defecto del cuadro 2.

Si se basa el cálculo en DQO se puede convertir en un valor basado en el DBO, multiplicándolo por un factor de 2,4.

<i>Cuadro 2: Capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub> (B<sub>0</sub>) por defecto para las aguas residuales domésticas</i>
0,6 kg. de CH <sub>4</sub> /kg. de DBO
0,25 kg. de CH <sub>4</sub> /kg. de DQO

El Cuadro 3 incluye los valores de MCF por defecto.

<i>Cuadro 3: Valores de MCF por defecto para las aguas residuales domésticas</i>			
Tipo de vía o sistema de tratamiento y eliminación	Comentarios	MCF <sup>1</sup>	Intervalo
<b>Sistema sin tratamiento</b>			
Eliminación en río, lago y mar	Los ríos con alto contenido de sustancias orgánicas pueden volverse anaeróbicos.	0,1	0 – 0,2
Cloaca estancada	Abierta y caliente.	0,5	0,4 – 0,8
Cloaca en movimiento (abierta o cerrada).	Correntosa, limpia. (cantidades insignificantes de CH <sub>4</sub> desde las estaciones de bombeo, etc.)	0	0
<b>Sistema tratado</b>			
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Debe ser bien operada. Puede emitir algo de CH <sub>4</sub> desde las cuencas de decantación y otros tanques.	0	0 – 0,1
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Mal operada. Sobrecargada.	0,3	0,2 – 0,4
Digestor anaeróbico para lodos	Aquí no se considera la recuperación de CH <sub>4</sub> .	0,8	0,8 – 1,0
Reactor anaeróbico	Aquí no se considera la recuperación de CH <sub>4</sub> .	0,8	0,8 – 1,0
Laguna anaeróbica poco profunda	Profundidad de menos de 2 metros: recurrir al dictamen de expertos.	0,2	0 – 0,3
Laguna anaeróbica profunda	Profundidad de más de 2 metros.	0,8	0,8 – 1,0
Sistema séptico	La mitad del DBO se decanta en tanques anaeróbicos.	0,5	0,5
Letrina	Clima seco, capa freática más baja que la letrina, familia reducida (3-5 personas)	0,1	0,05 – 0,15
Letrina	Clima seco, capa freática más baja que la letrina, uso comunitario (muchos usuarios)	0,5	0,4 – 0,6
Letrina	Clima húmedo/descarga por agua, capa freática más alta que la letrina	0,7	0,7 – 1,0
Letrina	Extracción frecuente de sedimentos para abono	0,1	0,1
<sup>1</sup> En base al dictamen de expertos de los autores principales de esta sección			

En cuanto a la elección de los datos de la actividad, este punto se refiere a la cantidad total de materia orgánica degradable en los líquidos cloacales (TOW en inglés).

Dicho parámetro es una función de la población humana y del índice de generación de DBO por persona.

Se expresa en términos de requisito bioquímico de oxígeno (Kg de DBO/año), y la ecuación se presenta como “ecuación 3”.

<p style="text-align: center;"><b>Ecuación 3</b> <b>Total de materia orgánica degradable en las aguas residuales domésticas</b> <math>TOW = P.DBO.0.001.I.365</math></p>
--

Donde:

**TOW** = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg. de DBO/año.

**P** = población del país en el año del inventario, (personas).

**DBO** = DBO per cápita específico del país en el año del inventario, g/persona/día, véase el Cuadro 4.

**0,001** = conversión de gramos de DBO a kilogramos de DBO.

**I** = factor de corrección para DBO industrial adicional eliminado en las cloacas (si es recolectado el valor por defecto es 1,25; si no es recolectado el valor por defecto es 1,00).

El factor “I” de la ecuación 3 anterior está elaborado en base a un dictamen de expertos, y representa la DBO industrial y de comercios que se descargan junto a los líquidos cloacales de origen domestico.

En algunos países se utiliza los valores de normativa y licencias industriales para mejorar dicho factor.

Si no se cuenta con dicho valor, se recomienda basarse en dictámenes de expertos, estadísticas nacionales, de naciones unidas, etc.



El grado de urbanización puede obtenerse de fuentes internacionales, o de dictámenes de expertos.

En el Cuadro 5 se incluyen los valores por defecto de “ $U_i$ ” y “ $T_{i,j}$ ” para algunos países seleccionados.

Los valores por defecto presentados en el cuadro 5, presentan inconsistencias en su relación interna.

Esta situación se analiza en detalle a la hora de definir los valores de las variables necesarias para realizar los cálculos.

<i>Cuadro 4: Valores de DBO5 estimados para las aguas residuales domésticas por regiones y países seleccionados</i>			
<b>País/Región</b>	<b>DBO5 (g/persona/día)</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Referencia</b>
África	37	35 – 45	1
Egipto	34	27 – 41	1
Asia, Oriente Medio, América Latina	40	35 – 45	1
India	34	27 – 41	1
Cisjordania y Franja de Gaza (Palestina)	50	32 – 68	1
Japón	42	40 – 45	1
Brasil	50	45 – 55	2
Canadá, Europa, Rusia, Oceanía	60	50 – 70	1
Dinamarca	62	55 – 68	1
Alemania	62	55 – 68	1
Grecia	57	55 – 60	1
Italia	60	49 – 60	3
Suecia	75	68 – 82	1
Turquía	38	27 – 50	1
Estados Unidos	85	50 – 120	4

**Cuadro 5: Valores sugeridos para la urbanización (U) y el grado de utilización de la vía del tratamiento o eliminación o del método por grupo de ingresos (Tij) para los países seleccionados**

País	Urbanización(U) 1				Grado de utilización de la vía del tratamiento o eliminación o del método por cada grupo de ingresos (Tij) 3									
	Fracción de la población				U=rural					U=urbana de ingresos altos				
	Rural	urban a-alt2	urbana -baja2	urbana población	Pozo séptico	Letrina	Otro	Cloaca4	Ninguno	Pozo séptico	Letrina	Otro	Cloaca4	Ninguno
<b>África</b>														
Nigeria	0,56	0,32	0,31	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,56	0,32
Egipto	0,56	0,15	0,05	0,05	0,10	0,70	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,56	0,15
Kenia	0,56	0,32	0,31	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,56	0,32
Sudáfrica	0,48	0,15	0,15	0,15	0,00	0,70	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,48	0,15
<b>Asia</b>														
China	0,3	0,18	0,08	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14	0,10	0,03	0,68	0,05	0,3	0,18
India	0,33	0,18	0,08	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,33	0,18
Indonesia	0,43	0,18	0,08	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,43	0,18
Pakistan	0,43	0,18	0,08	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,43	0,18
Bangla Desh	0,43	0,18	0,08	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,43	0,18
Japón	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,90	0,00	0,10	0	0	0,90	0	0,00	0,00
<b>Europa</b>														
Rusia	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,10
Alemania 5	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05
Reino Unido	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00
Francia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00
Italia	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,04
<b>América del Norte</b>														
Estados Unidos	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05
Canadá	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05
<b>América Latina y el Caribe</b>														
Brasil	0,45	0,00	0,20	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00	0,40	0,00	0,40	0,20	0,45	0,00
México	0,45	0,00	0,20	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00	0,40	0,00	0,40	0,20	0,45	0,00
<b>Oceanía</b>														
Australia y Nueva Zelanda	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05

Notas: (ND = dato no disponible)

1. *Urbanization projections for 2005* (Proyecciones de urbanización para el 2005) (Naciones Unidas, 2002).
2. División sugerida entre ingresos altos urbanos y bajos ingresos urbanos. Se alienta a los países a utilizar sus propios datos o mejores apreciaciones.
3. Valores de Tij basados en dictamen de expertos. (Doom y Liles, 1999).
4. Las cloacas pueden ser abiertas o cerradas (alcantarillados), lo cual determinará la elección de MCF, véase el Cuadro 3.3.
5. Destatis, 2001.

Nota: Estos datos se han tomado de la bibliografía o están basados en dictamen de expertos. Por favor use valores nacionales, si los hay

A continuación la metodología se pronuncia sobre la coherencia de la serie temporal, indicando que se debe utilizar siempre el mismo método y conjunto de datos a lo largo de todos los años del sistema.

Los factores de los distintos procesos deben ser los mismos año a año, y si existen cambios de fracciones procesadas, ese hecho se debe justificar y documentar.

Se deben evitar las dobles contabilizaciones a lo largo del sistema, situación reflejada en las ecuaciones.

Como recomendación genérica sobre falta puntual de datos de algún año de la serie en estudio, indica basarse en el contenido del capítulo 5 del volumen 1 de la metodología.

Respecto de las incertidumbres, las mismas se pueden saldar vía la utilización del capítulo 3 del volumen 1, o nutrirse del cuadro 6 donde se brindan intervalos de incertidumbre para el factor de emisión y de los datos de actividad de las aguas residuales domésticas.

Al respecto, se piensa que los siguientes parámetros son muy inciertos:

- Utilización de pozo séptico, letrina o alcantarilla en poblaciones rurales, urbanas bajas y urbanas altas, reflejado en facto " $T_{ij}$ " en las ecuaciones correspondientes.
- Fracción de cloacas o alcantarillas abiertas, posibilitando emisión de  $CH_4$ .
- Cantidad de vuelcos industriales (TOW) a cloaca abierta o cerrada.

<i>Cuadro 6: Intervalos de incertidumbre por defecto para las aguas residuales domésticas</i>	
Parámetros	Intervalo de incertidumbre
<b>Factor de emisión</b>	
Capacidad máxima de producción de CH <sub>4</sub> (B0)	± 30%
Fracción tratada en condiciones anaeróbicas (MCF)	El MCF depende de la tecnología. Véase el Cuadro 6.3. Por lo tanto, el intervalo de incertidumbre también depende de la tecnología. El rango de incertidumbre debe determinarse por medio de dictamen de expertos, teniendo presente que el MCF es una fracción y que debe situarse entre 0 y 1. Los intervalos sugeridos se presentan a continuación:  Sistemas no-tratados y letrinas, ± 50% Lagunas, plantas de tratamiento mal gestionadas, ± 30% Planta centralizada bien gestionada, digestor, reactor, ± 10%
<b>Datos de la actividad</b>	
Población humana (P)	± 5%
DBO por persona	± 30%
Fracción del grupo de ingresos de la población (U)	Se dispone de buenos datos sobre urbanización, sin embargo, puede ser necesario que la distinción entre los sectores urbanos de altos ingresos y urbanos de bajos ingresos se base en el dictamen de expertos, ± 15%
Grado de utilización de la vía o el sistema de tratamiento y/o eliminación para cada grupo de ingresos (Ti j)	Puede ser tan bajo como ± 3% para los países que tienen buenos registros y sólo uno o dos sistemas. Puede ser de ± 50% para una vía y/o método individual. Asegurarse de que el total Ti j sea igual a 100%
Factor de corrección para DBO industrial adicional eliminado en alcantarillas (I)	Para las aguas no-recolectadas, la incertidumbre es cero %. Para las recolectadas, la incertidumbre es de ± 20%.
Fuente: Dictamen de grupo de expertos (los autores de esta sección)	

Respecto de la exhaustividad, generación de informes y documentación, aconseja implementar algún procedimiento de garantía de calidad y control de calidad.

Específicamente sobre los datos de la actividad, los factores de emisión, recuperación de CH<sub>4</sub> y separación de lodos, comparación de emisiones obtenidas mediante diferentes enfoques.

Respecto de la generación de informes y documentación, es una *buena práctica* documentar y declarar un resumen de los métodos utilizados, datos de la actividad y factores de emisión.

Si existieren cambios de datos o métodos, se deben fundamentar.

Nuevamente, documentar los distintos destinos de subproductos como  $\text{CH}_4$  y lodos, para evitar la doble contabilidad expresada previamente.

A continuación aborda el tema de las aguas residuales industriales.

Se advierte que los industriales no colectados y tratados, no son objeto del alcance de la comparación, pues no se modifica su status con la entrada en servicio de las plantas de AySA, pero se agrega como anexo a la metodología propuesta por el IPCC.

Comenta que las mismas pueden ser tratadas *in situ* o volcarse a sistemas cloacales o alcantarillado doméstico.

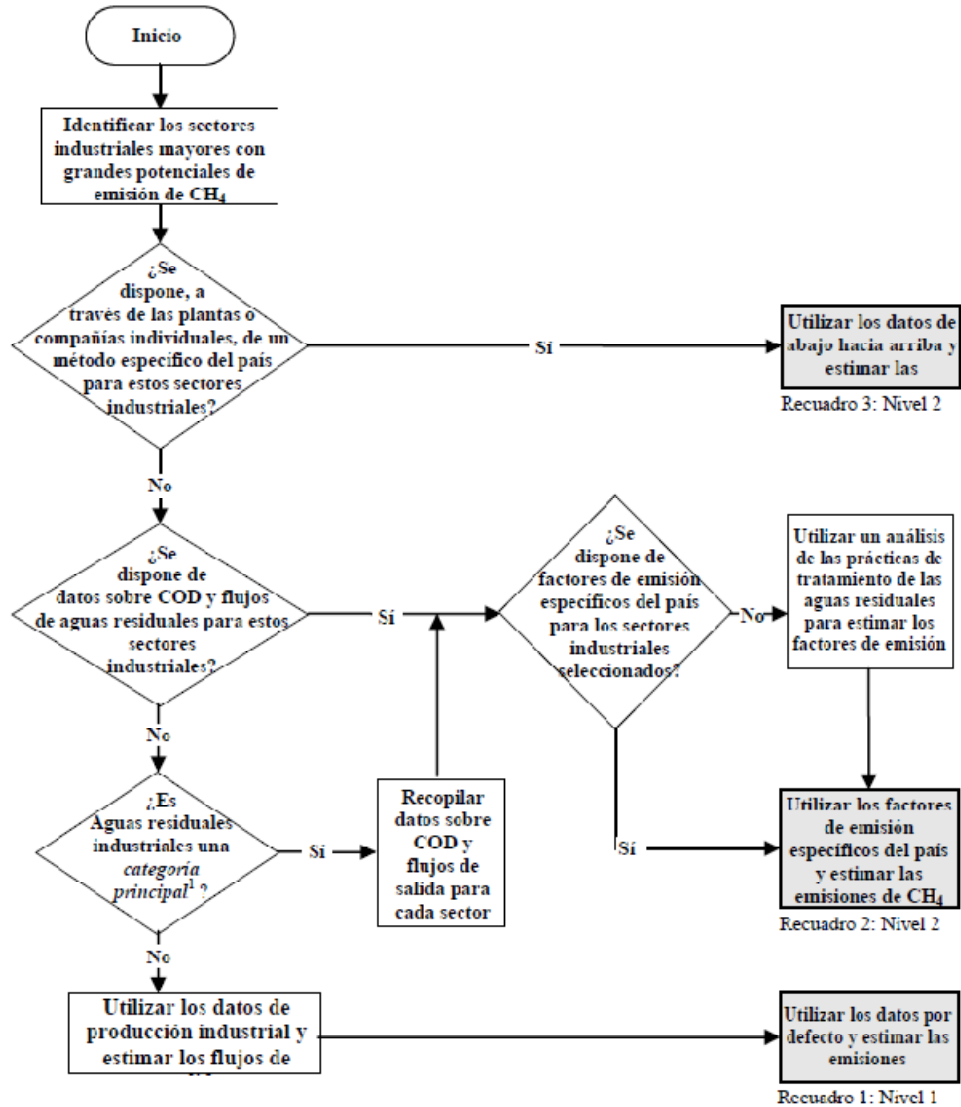
Si son evacuadas a sistema de alcantarillado domestico, las emisiones se deben contabilizar en dicho sistema.

Y describe las estimaciones de las emisiones de  $\text{CH}_4$  procedentes del tratamiento *in situ* de aguas residuales industriales.

Sólo produce  $\text{CH}_4$  el agua residual industrial que contiene significantes cargas de carbono y que se trata bajo condiciones anaeróbicas, sean éstas previstas o no, expresado en DQO.

La elección del método corresponde a la figura 14, en forma de árbol de decisión para aguas residuales industriales.

Figura 6.3 Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales industriales



**Nota:**

1. Para un análisis de las categorías principales y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Figura 14: Árbol de decisión de nivel de métodos, extraído de las directrices del IPCC para cálculo de emisiones, año 2006<sup>29</sup>.

El potencial  $\text{CH}_4$  emitido por aguas residuales industriales se basa en la concentración de materia orgánica degradable, su volumen y en la propensión del sector a tratarlas en sistema anaeróbicos.

Con este concepto, las fuentes con alto potencial de emisión de  $\text{CH}_4$  son las siguientes:

- manufactura de la pulpa y el papel.
- procesamiento de carne y aves (mataderos).
- producción de alcohol, cerveza, almidón.
- producción de sustancias químicas orgánicas.
- otros procesamientos de alimentos y bebidas (productos lecheros, aceite vegetal, frutas y verduras, envasadoras, fabricación de jugos, etc.).

El método para estimación de sector industrial, es similar al domestico (Figura 14).

Sin embargo, los datos de actividad y desarrollo de factores de emisión son mucho más complejos.

Dichas mediciones deberían basarse en mediciones puntuales, lo que lo torna muy caro y difícil.

Se sugiere que los compiladores del inventario utilicen un enfoque «de arriba hacia abajo» que incluya los pasos generales siguientes:

**Paso 1:** Usar Ecuación 6 para estimar el carbono orgánico total degradable de manera orgánica en aguas servidas (TOW) para el sector industrial  $i$ .

**Paso 2:** Elegir la vía y los sistemas (Figura 12) según los datos de la actividad en el país. Usar Ecuación 5 para obtener el factor de emisión para cada sector industrial, estimar el factor de emisión utilizando la capacidad máxima de

producción de metano y el promedio del factor de corrección para el metano específico de la industria.

**Paso 3:** Utilizar Ecuación 4 para estimar las emisiones, ajustar para la eventual separación de los lodos y/o recuperación de CH<sub>4</sub>, y sumar los resultados.

La ecuación general para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales industriales es la siguiente:

**Ecuación 4**  
**Emisiones totales de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales industriales**

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \sum_i [ (TOW_i - S_i) \cdot EF_i - R_i ]$$

Donde:

**Emisiones de CH<sub>4</sub>** = emisiones de CH<sub>4</sub> durante el año del inventario, kg. de CH<sub>4</sub>/año.

**TOW** = total de la materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales de la industria *i* durante el año del inventario, kg. de DQO/año.

**i** = sector industrial.

**Si** = componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg. de DQO/año.

**EF<sub>i</sub>** = factor de emisión para la industria *i*, kg. de CH<sub>4</sub>/kg. de DQO para la vía o sistema(s) de tratamiento y/o eliminación utilizado(s) en el año del inventario.

Si en una industria se utiliza más de una práctica de tratamiento, este factor debe corresponder a un promedio ponderado.

**R<sub>i</sub>** = cantidad de CH<sub>4</sub> recuperada durante el año del inventario, kg. de CH<sub>4</sub>/año.



La cantidad de CH<sub>4</sub> que se recupera se expresa en la Ecuación 4 como R. El gas recuperado debe tratarse como se describe previamente.

Para la elección de los factores de emisión deben recopilarse datos para determinar la capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub> (B<sub>0</sub>) de cada industria.

Como se ha señalado anteriormente, el MCF indica en qué medida se manifiesta el potencial máximo de producción de CH<sub>4</sub> (B<sub>0</sub>) en cada tipo de método de tratamiento.

Por lo tanto, es una indicación del grado al cual el sistema es de tipo anaeróbico. Véase la ecuación 5.

<p style="text-align: center;"><b>Ecuación 5</b> <b>Factor de emisión de CH<sub>4</sub> para las aguas residuales industriales</b> <math display="block">EF_j = B_0 \cdot MCF_j</math></p>
--

Donde:

**EF<sub>j</sub>** = factor de emisión para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación, kg. de CH<sub>4</sub>/kg. de DQO.

**j** = cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación.

**B<sub>0</sub>** = capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub>, kg. de CH<sub>4</sub>/kg. de DQO.

**MCF<sub>j</sub>** = factor de corrección para el metano (fracción) (véase el Cuadro 7).

Es una *buena práctica* emplear datos específicos del país y específicos del sector industrial que se puedan obtener a través de las autoridades gubernamentales, organizaciones industriales o peritos industriales.

Si no se dispone de los datos específicos del país, es una *buena práctica* utilizar para B<sub>0</sub> el factor del DQO por defecto del IPCC (0,25 kg. de CH<sub>4</sub>/kg. de DQO).

Para la determinación del factor de corrección para el metano (MCF), que es la fracción de los desechos tratados en condiciones anaeróbicas, se recomienda recurrir a un dictamen de expertos como los del cuadro 7.

<i>Cuadro 7: Valores de MCF por defecto para las aguas residuales industriales</i>			
Tipo de vía o sistema de tratamiento y eliminación	Comentarios	MCF 1	Intervalo
<b>No tratadas</b>			
Eliminación en río, lago y mar	Los ríos con altas cargas de orgánicos pueden volverse anaeróbicos, pero esta situación no se considera aquí.	0,1	0 – 0,2
<b>Tratado</b>			
Planta de tratamiento aeróbico	Debe ser bien gestionada. Puede emitir algo de CH <sub>4</sub> desde las cuencas de decantación y otros tanques.	0	0 – 0,1
Planta de tratamiento aeróbico	Mal operada. Sobrecargada	0,3	0,2 – 0,4
Digestor anaeróbico para lodos	Aquí no se considera la recuperación de CH <sub>4</sub> .	0,8	0,8 – 1,0
Reactor anaeróbico (e. ej., UASB Reactor de membrana fija)	Aquí no se considera la recuperación de CH <sub>4</sub> .	0,8	0,8 – 1,0
Laguna anaeróbica poco profunda	Profundidad de menos de 2 metros, recurrir al dictamen de expertos.	0,2	0 – 0,3
Laguna anaeróbica profunda	Profundidad de más de 2 metros	0,8	0,8 – 1,0
1 Basado en dictamen de expertos realizado por los autores principales de esta sección			

Con respecto a la elección de los datos de la actividad, los datos de la actividad para esta categoría de fuente son la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales (TOW).

Este parámetro depende de la producción industrial  $P$  (toneladas/año), de la generación de aguas residuales  $W$  (m<sup>3</sup>/tonelada de producto) y de DQO (Kg. DQO/m<sup>3</sup>), la concentración de sustancias orgánicas degradables en las aguas residuales.

Véase la Ecuación 6.

Para determinar TOW se requieren los siguientes pasos:

(i) Identificar los sectores industriales que generan aguas residuales con altos contenidos de carbono orgánico;

(ii) Identificar los sectores industriales que usan tratamiento anaeróbico.

Para cada sector elegido, estímalese el total del carbono degradable de manera orgánica (TOW).

**Ecuación 6**  
**Materia orgánica degradable en las aguas residuales industriales**  
$$TOW_i = P_i \cdot W_i \cdot DQO_i$$

Donde:

**TOW<sub>i</sub>** = total de la materia degradable de manera orgánica en las aguas residuales de la industria i, kg. de DQO/año.

**i** = sector industrial.

**P<sub>i</sub>** = producto industrial total del sector industrial i, t/año.

**W<sub>i</sub>** = aguas residuales generadas, m<sup>3</sup>/t producto.

**DQO<sub>i</sub>** = requerimiento químico de oxígeno (componente industrial orgánico degradable en las aguas residuales), kg. de DQO/m<sup>3</sup>.

Se pueden obtener datos sobre la producción industrial y las aguas residuales resultantes a partir de las estadísticas nacionales, los organismos reguladores, las asociaciones industriales o de tratamiento de aguas residuales.

En algunos casos, la cuantificación de la carga de DQO en las aguas residuales puede necesitar un dictamen de expertos.

En algunos países, se pueden obtener datos sobre la DQO y la utilización total de agua por sector, directamente de un organismo regulador.

Una alternativa es la de obtener datos sobre la producción industrial y buscar en la bibliografía las toneladas de DQO generado por tonelada de producto.

El cuadro 8 ofrece ejemplos que se pueden utilizar como valores por defecto.

Estos deben usarse con precaución, por ser parámetros específicos del país, de la industria y del proceso.

*Cuadro 8: Ejemplos de datos sobre aguas residuales industriales.*

Tipo de industria (m <sup>3</sup> /tonelada)	Generación de aguas residuales W(m <sup>3</sup> /tonelada)	Intervalo para W((m <sup>3</sup> /tonelada)	DQO (kg./m <sup>3</sup> )	Intervalo del DQO kg./m <sup>3</sup> )
Refinado de alcohol	24	16 –32	11	5 – 22
Malta y cerveza	6,3	5,0 –9,0	2,9	2 – 7
Café	ND	ND –	9	3 – 15
Productos lácteos	7	3 –10	2,7	1,5 – 5,2
Procesamiento del pescado	ND	8 –18	2,5	
Sustancias químicas orgánicas	67	0 –400	3	0,8 – 5
Refinerías de petróleo	0,6	0,3 –1,2	1,0	0,4 – 1,6
Plásticos y resinas	0,6	0,3 –1,2	3,7	0,8 – 5
Pulpa y papel (combinados)	162	85 –240	9	1 – 15
Jabón y detergentes	ND	1,0 –5,0	ND	0,5 – 1,2
Producción de almidón	9	4 –18	10	1,5 – 42
Refinación del azúcar	ND	4 –18	3,2	1 – 6
Aceites vegetales	3,1	1,0 –5,0	ND	0,5 – 1,2
Verduras, frutas y zumos	20	7 –35	5,0	2 – 10
Vino y vinagre	23	11 –46	1,5	0,7 – 3,0
Notas: ND = No disponible. Fuente: Doorn <i>et al.</i> (1997).				

Con respecto a la coherencia de la serie temporal, todo dato que se sume al cálculo, debe tenerse en cuenta en toda la serie temporal.

Eventualmente, se deberá recalcular la serie.

Respecto de las incertidumbres, la metodología proporciona el cuadro 9 con las estimaciones de incertidumbre para B<sub>0</sub>, MCF, P, W y DQO, las cuales se basan en un dictamen de expertos.

Cuadro 9: Intervalos de incertidumbre por defecto para las aguas residuales industriales	
Parámetro	Intervalo de incertidumbre
Factor de emisión	
Capacidad máxima de producción de CH <sub>4</sub> (B0)	± 30%
Factor de corrección para el metano (MCF)	El intervalo de incertidumbre debe determinarse por dictamen de expertos, teniendo presente el hecho de que se trata de una fracción y que las incertidumbres no pueden situar el valor fuera del intervalo de 0 a 1.
Datos de la actividad	
Producción industrial (P)	± 25%. Recurrir al dictamen de expertos en relación con la calidad de las fuentes de datos con el fin de atribuir un intervalo de incertidumbre más exacto.
Producción de aguas residuales / unidad de producción (W)	Estos datos pueden ser muy inciertos, pues el mismo sector puede usar diferentes procedimientos de gestión de desechos en diferentes instalaciones y en diferentes países. Es esperable que el producto de los parámetros (W•DQO) sea menos incierto. Se puede asignar directamente un valor de incertidumbre a kg. de DQO/tonelada de producto. Se sugiere –50 %, +100% ( o sea, un factor de 2)
cantidad de COD / unidad de aguas residuales (COD)	
Fuente: Dictamen de grupo de expertos (copresidentes, editores y autores de este sector)	

Con respecto a la exhaustividad, generación de informes y documentación, son similares a las domésticas, aunque realiza una serie de recomendaciones específicas del sector.

Como última parte de la metodología, se aborda la temática de las emisiones de óxido nítrico provenientes de las aguas residuales.

Comienza con una descripción de las cuestiones metodológicas, sea elección del método, del factor de emisión y de la elección de los datos de la actividad.

En cuanto a la elección del método, se explica previamente que la emisión puede darse en plantas de tratamiento avanzado o indirectamente en los cuerpos de agua donde se disponen las aguas tratadas de las plantas.

Las emisiones directas de plantas de tratamiento son fruto de la nitrificación o desnitrificación, siendo consideradas fuentes menores, reflejadas en el cuadro 1.

Estas se dan en países donde se cuenta con tratamientos avanzados de líquido cloacal, con etapas de nitrificación y desnitrificación.

En el presente estudio, una sola planta del total incluye este proceso, por lo que no será tenida en cuenta.

Se calculará el  $N_2O$  emitido por el cuerpo receptor (Río de la Plata) de los efluentes tratados.

Dicha decisión debe ser considerada teniendo en cuenta la aseveración de la metodología respecto de la incertidumbre de los datos, ya que se menciona que “este factor de emisión se basa en escasos datos de terreno y sobre hipótesis específicas en lo tocante a la nitrificación y desnitrificación en ríos y estuarios”<sup>29</sup>.

Un acercamiento para efectuar cálculos sobre el desarrollo de dinámicas químicas como las que se estudian con las variables genéricas provistas por la metodología podría dar como resultado conclusiones erróneas.

Esto debe ser tenido en cuenta a la hora de generar conclusiones.

Debido a la incertidumbre en los datos por defecto para el cálculo del  $N_2O$  publicados en la metodología seleccionada, se decidió realizar con los mismos un análisis de sensibilidad, en la presentación final de datos.

Dicho análisis se realizará exclusivamente sobre los resultados finales, pero solo aplicado sobre la fracción de  $N_2O$ .

Arbitrariamente, se tomará sobre los valores mencionados una variación del  $\pm 50\%$ .

En resumen:

Respecto de la capacidad de generar  $N_2O$ , la metodología es explícita a la hora de marcar la diferencia entre la generación directa e indirecta.

En forma directa, como las plantas en proyecto no incluyen procesos de nitrificación y desnitrificación (solo una y con baja cobertura), no será parte del presente estudio la generación de N<sub>2</sub>O.

Respecto de las emisiones indirectas, formaran parte de este estudio, con las recomendaciones del caso (la gran incertidumbre respecto del índice generado por el IPCC).

Se realizará el análisis de sensibilidad mencionado sobre la fracción de N<sub>2</sub>O.

Establecido el objetivo, a continuación se describe el desarrollo de la metodología.

La ecuación 7 para el cálculo de emisiones de N<sub>2</sub>O se puede observar a continuación:

**Ecuación 7**  
**Emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de las aguas residuales efluentes**  
$$Emisiones\ de\ N_2O = N_{efluente} \cdot EF_{efluente} \cdot 44/28$$

Donde:

**Emisiones de N<sub>2</sub>O** = emisiones de N<sub>2</sub>O durante el año del inventario, kg. de N<sub>2</sub>O/año.

**N<sub>EFLUENTE</sub>** = nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg. de N/ año.

**EF<sub>EFLUENTE</sub>** = factor de emisión para las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg. de N<sub>2</sub>O/kg. de N.

El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg de N<sub>2</sub>O-N en kg de N<sub>2</sub>O.

En cuanto a la elección de los factores de emisión, la metodología brinda un valor por defecto de 0,005 (0,0005 – 0,25) Kg. N<sub>2</sub>O-N/Kg. N.

Este factor de emisión se basa en escasos datos de terreno y sobre hipótesis específicas en lo tocante a la nitrificación y desnitrificación en ríos y estuarios.

Los datos de la actividad requeridos son el contenido de nitrógeno en efluente, la población, y el promedio anual de generación de proteína *per cápita* (Kg/persona/año).

Dicha generación de proteína consiste en la ingesta (consumo), que se puede obtener de la FAO, multiplicada por factores que den cuenta de la proteína adicional “no-consumida” y de la proteína industrial descargada en alcantarillas.

Los restos de alimentos que no se consumen y se pueden eliminar por el drenaje (p. ej. uso de trituradores), así como las aguas de baño y lavado de ropa, pueden contribuir a las cargas de nitrógeno.

Para los países desarrollados que utilizan trituradores de desechos, el valor para la proteína no consumida por defecto es de 1,4; y para los países en desarrollo esta fracción es de 1,1.

Las aguas residuales de fuentes industriales o comerciales que se descargan en los alcantarillados pueden contener proteína y el valor por defecto es 1,25.

El nitrógeno total en los efluentes se calcula según la ecuación 8.

**Ecuación 8**

**Nitrógeno total en los efluentes**

$$N_{\text{efluente}} = (P \cdot \text{Proteína} \cdot F_{\text{NPR}} \cdot F_{\text{NON-CON}} \cdot F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{lodo}}$$

Donde:

**N<sub>EFLUENTE</sub>** = cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales, kg. de N/año.

**P** = población humana.



**Proteína** = consumo per cápita anual de proteínas, kg./persona/año.

**F<sub>NPR</sub>** = fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0,16, kg. de N/kg. de proteína.

**F<sub>NON-CON</sub>** = factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales.

**F<sub>IND-COM</sub>** = factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado.

**N<sub>LODO</sub>** = nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0), kg. de N/año.

Con respecto a la coherencia de la serie temporal, es similar a la recomendación sobre la parte metodológica del CH<sub>4</sub> doméstico.

Respecto de las incertidumbres, las mismas provienen de los mismos datos por defecto del IPCC.

Al no existir actualmente suficientes datos de terreno, no se pueden mejorar los valores por defecto.

En el Cuadro 10 se incluyen intervalos de incertidumbre basados en el dictamen de expertos.

Cuadro 10: Datos por defecto para la metodología del N <sub>2</sub> O			
Definición	Valor por defecto	Intervalo	
Factor de emisión			
EFEFLUENTE	Factor de emisión, (kg. de N <sub>2</sub> O-N/kg. de N)	0,005	0,0005 – 0,25
EFPLANTA	Factor de emisión, (g de N <sub>2</sub> O/persona/año)	3,2	2 – 8
Datos de la actividad			
P	Cantidad de personas en el país	Específico del país	± 10 %
Proteína	Consumo anual de proteína per cápita	Específico del país	± 10 %
FNPR	Fracción de nitrógeno contenido en la proteína (kg. de N/kg. de proteína)	0,16	0,15 – 0,17
Tplanta	Grado de utilización de las grandes plantas WWT	Específico del país	± 20 %
FNON-CON	Factor de ajuste para la proteína no consumida	1,1 para los países sin eliminación de basuras 1,4 para los países con eliminación de basura	1,0 – 1,5
FIND-COM	Factor introducido para tomar en cuenta las co-descargas de nitrógeno industrial en los alcantarillados. Para los países con una cantidad significativa de plantas de procesamiento de pescado, este factor puede ser más elevado. Se recomienda recurrir al dictamen de expertos.	1,25	1,0 – 1,5

Finalmente la metodología se expide respecto de la exhaustividad, generación de informes y documentación.

Este método utiliza varios parámetros por defecto.

Se aconseja solicitar la opinión de expertos para evaluar si los factores por defecto propuestos son apropiados.

En cuanto a la exhaustividad y salvo cuando se dispone de datos sobre la separación de los lodos, la metodología asume que todo el nitrógeno, entra en algún momento en una vía fluvial.

Es una estimación conservadora y no incluye las generadas por el sector industrial por considerárselas no significativas.

En cuanto a la generación de informes y documentación, el tratamiento es similar al de la parte metodológica referente a CH<sub>4</sub> domestico.

### **Aplicación de la metodología, cálculo de CH<sub>4</sub>.**

En base al árbol de decisiones provisto por la metodología (figura 12) , y en base a los pocos datos de terreno con que se llevará adelante el cálculo, se seleccionará la opción “nivel 1”, donde se utilizan los valores por defecto para la estimación de emisiones, mas algunos datos obtenidos de AySA, INDEC, Secretaria de Energía y la FAO.

A partir de dicha selección, se comienza a aplicar los datos a las ecuaciones descriptas en el capítulo anterior.

La primera ecuación a utilizar es la 3 la cual cuantifica el total de materia orgánica degradable en las aguas residuales domesticas.

El periodo de tiempo tenido en cuenta será acorde a la puesta en operación de cada planta, tomando como estándar un año entre la apertura de una planta y otra.

Ecuación 3:

$$\mathbf{TOW = P * DBO * 0.001 * I * 365}$$

Donde:

**TOW**= Total de materia orgánica en las aguas residuales del año en inventario, en kg de DBO/año.

**P**= población del área de estudio (personas). Se considera solamente la fracción sin acceso a cloaca.

**DBO**= DBO per cápita del país en el periodo de estudio, g/persona/día.

**0.001**= conversión de gramos de DBO a kilogramos de DBO.

**I**= factor de corrección para la DBO industrial adicional eliminado en las cloacas.

Los valores tomados del cuadro 4 y de la definición de factores de la ecuación 3, se reflejan en la tabla 4, dejando como variable móvil el valor de P, como se observa en la tabla 5.

DBO (Cuadro 4)	Conversión de gramos a Kg DBO	Período	Factor de corrección de DBO por defecto
40	0.001	365	1.00

Tabla 4: Valores para ecuación 3.

Evolución de “P” en base a puesta en marcha de las plantas (tabla 5):

Planta	Línea de base	Expansión Planta Sud Oeste	Expansión Planta El Jaguel	Planta Lanús	Planta Fiorito	Planta “Del Bicentenario”
Usuarios afectados a pozo ciego	2.163.376	1.820.176	1.220.176	1.160.176	890.176	0

Tabla 5: Evolución de variable “P”.

Los datos de la tabla 5 se obtienen restando a la línea de base, los usuarios que se conectan a la nueva red cloacal asociada a la apertura de cada nueva planta.

Los resultados para el TOW (kg al año) en cada intervalo calculado se puede observar en la tabla 6:

Planta	Línea de base	Expansión Planta Sud Oeste	Expansión Planta El Jaguel	Planta Lanús	Planta Fiorito	Planta Del Bicentenario
<b>TOW</b>	31.585.289,60	26.574.569,60	17.814.569,60	16.938.569,60	12.996.569,60	0,00

Tabla 6: TOW (kg al año) para cada intervalo.

Una vez efectuado dicho cálculo, se procede a la selección de vías y sistemas (cuadro 1) y a utilizar la ecuación 2 para obtener el factor de emisión para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación de aguas servidas domésticas.

Remitiéndonos a la figura 12, la cual establece cuales son las fracciones a analizar por la metodología, tomaremos para los efluentes no colectados, las tratadas in situ vía letrinas o pozos ciegos, y las que desemboken en cuerpos superficiales de agua, y para los efluentes colectados, los no tratados volcados a cuerpos superficiales o drenajes estancados, y finalmente, los drenados a plantas con tratamiento anaeróbico, en reactores y lagunas.

El estudio de estas fracciones, comparándolo con el cuadro 1, permite acotar más aún las variables a estudiar.

Se describe cada variable por separado según si el efluente es recolectado o no, y si es tratado o no, con su correspondiente sistema de tratamiento, y con una breve justificación sobre su inclusión o exclusión.

#### **Efluentes Recolectados no tratados:**

La eliminación en cuerpos de agua en anaerobismo produce  $\text{CH}_4$ : esto se puede dar en el río Matanza Riachuelo, y es una situación que no es parte del estudio, ya que los líquidos recolectados por AySA son tratados previo a la disposición del efluente en cuerpo receptor.

Las alcantarillas cerradas no producen  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , por lo que no se tendrán en cuenta.

AySA no recolecta efluentes en alcantarillas abiertas, por lo que tampoco será tenido en cuenta.

#### **Efluentes Recolectados tratados:**

Para la fracción con tratamiento aeróbico en plantas de tratamiento centralizado aeróbico”: AySA cuenta con una sola planta con proceso de desnitrificación y

nitrificación, y a su vez, la misma metodología en el apartado correspondiente considera la generación de  $N_2O$  en plantas como fuente menor, indicando que solo pueden interesar a países donde predomina la utilización de este tipo de plantas, por lo que no se considera la generación de  $N_2O$ .

Respecto del  $CH_4$ , se plantea el escenario de plantas con diseño y gestión eficiente, ya que no se incorpora una auditoría sobre la operación de la misma.

En la misma línea, no se plantea la posibilidad de que existan bolsones anaeróbicos, sobre todo teniendo en cuenta el proceso de aireación existente a lo largo de todo el proceso en las plantas de AySA.

Para la fracción con tratamiento aeróbico con posterior tratamiento anaeróbico de lodos, no es fuente de  $N_2O$  y el  $CH_4$  obtenido en reactores se reutiliza, quemándose el excedente o su producción en antorcha.

Dicho  $CH_4$  no se contabiliza en dicha situación.

Para la fracción con tratamiento aeróbico en pozas aeróbicas poco profundas, si bien la metodología los menciona como “poco probables” de todas formas AySA no cuenta con este tipo de fosas.

Respecto del tratamiento anaeróbico en lagunas anaeróbicas, AySA no cuenta con estas instalaciones en las plantas asociadas al estudio, por lo que no se produce ni  $CH_4$  ni  $N_2O$ .

En referencia al tratamiento anaeróbico con reactores anaeróbicos, al reutilizarse o quemarse, el  $CH_4$  no será considerado.

En referencia a los efluentes no recolectados tratados en pozos sépticos, fueron asimilados como población con letrinas.

Respecto de los efluentes no recolectados tratados en pozos abiertos o letrinas, son contabilizadas como la principal vía de generación de  $\text{CH}_4$  en el estudio, dadas las condiciones técnicas de las plantas tenidas en cuenta y los usos de la población en estudio.

En relación a los efluentes no recolectados y eliminados en ríos, es asimilable al tratamiento descrito previamente (no tratados, eliminados en ríos).

Existe una categoría que debe estudiarse, no incluida en la metodología, pero que forma parte del tratamiento.

Esta es el vuelco de efluentes *tratados* en el Río de la Plata, mediante un emisario de once km de largo, cuyos últimos dos kilómetros se componen de los “Raisers” que generan la dilución en el río.

Tratándose de un cuerpo de agua con suficiente oxigenación, no es posible la generación de metano, pero podría darse la situación de generarse  $\text{N}_2\text{O}$  en forma abundante.

A partir de aquí, las ecuaciones se aplicaran primero para la fracción de metano, y luego, para la fracción de  $\text{N}_2\text{O}$ , dado el distinto abordaje para cada emisión.

Por lo cual debemos calcular la ecuación 2 para la fracción no colectada tratada en letrinas y pozos ciegos.

Se asumirá a los volcados (no recolectados) en el río matanza riachuelo como pozo-letrina, dada la imposibilidad de calcular que fracción de las no tratadas se tratan vía vuelco a cuerpo superficial.

La fracción colectada y tratada en plantas con tratamiento anaeróbico para el  $\text{CH}_4$  no serán contabilizados por ser el mismo quemado en antorcha y/o recuperado.

Para la aplicación de la ecuación 2, se precisa seleccionar los valores para las dos variables, el B0 (capacidad máxima de producción de metano, en kg de metano por kg de DBO) y el MCF (Factor de corrección del metano).

La metodología indica el uso del valor por defecto de 0.6 kg de CH<sub>4</sub> por kilo de DBO, cuando no se disponga de datos específicos del país.

Para el factor de corrección de metano, la metodología incluye el cuadro 3 donde se puede seleccionar según la vía de eliminación.

En nuestro caso y en base a la selección realizada previamente, nos limitamos a los valores indicados para un sistema de tratamiento por letrina de clima húmedo.

El valor indicado por el cuadro 3 es 0,7.

Aplicando la fórmula:

$$EF_j = B_0 \times MCF$$

Siendo B0: 0,6 y MCF: 0,7

Dicha ecuación da como resultado: 0,42

Luego, nuestro factor de emisión para cualquier escenario establecido en el trabajo será 0,42 kg de CH<sub>4</sub> por Kg de DBO.

Finalmente, los resultados de la ecuación 3 y 2 se aplican a la ecuación 1.

La misma se aplica por cada vía o sistema.

En este caso, se selecciono la vía del tratamiento en letrinas y pozos ciegos.

La ecuación 1 es la siguiente:

$$Emisiones\ de\ CH_4 = [\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j)] (TOW - S) - R$$

**Emisiones de CH<sub>4</sub>** = emisiones de CH<sub>4</sub> durante el año del inventario, kg. de CH<sub>4</sub>/año.



**TOW** = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg. de DBO/año.

**S** = componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg. de DBO/año.

**U<sub>i</sub>** = fracción de la población del grupo de ingresos *i* en el año de inventario, véase el Cuadro 5.

**T<sub>i,j</sub>** = grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación *j*, para cada fracción de grupo de ingresos *i* en el año del inventario, véase el Cuadro 5.

**i** = grupo de ingresos: rural, urbano de altos ingresos y urbano de bajos ingresos.

**j** = cada vía o sistema de tratamiento/eliminación.

**EF<sub>j</sub>** = factor de emisión, kg. de CH<sub>4</sub>/kg. de DBO.

**R** = cantidad de CH<sub>4</sub> recuperada durante el año del inventario, kg. de CH<sub>4</sub>/año.

Para cada intervalo de apertura de planta, entre la línea de base y la puesta en régimen de la planta “Del Bicentenario” se debe recalcular la ecuación, la cual nos dará el valor de CH<sub>4</sub> para cada intervalo.

El único valor que cambia en cada ecuación es el TOW calculado previamente, ya que el factor de emisión es 0,42; el valor por defecto de la separación de lodos es 0; la fracción del grupo de ingresos “i” en el año de estudio es 1 (ya que se toma el total de la población sin recolección de efluentes, no siendo una fracción en la ecuación, sino el total); el grado de utilización del sistema de tratamiento es 1 (por la misma razón detallada en “fracción del grupo de ingresos”); para el grupo de ingresos se toma del

mismo cuadro (5)<sup>1</sup> “urbana de ingresos bajos”; para “J” “otros” y finalmente, “R” trata de emisiones en antorcha, cuestión que queda fuera de esta vía de tratamiento.

Dicho factor “R”, es tenido en cuenta por la metodología de la siguiente manera: *“Las emisiones provenientes de la quema en antorcha son insignificantes, pues las emisiones de CO<sub>2</sub> son de origen biogénico y las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son muy pequeñas, de modo que en el Sector Desechos, la buena práctica no exige su estimación”.*

En base a dicho tratamiento, indicado además en el cuadro 1, el CH<sub>4</sub> recuperado o quemado no será tenido en cuenta.

Con dichas variables establecidas y el valor del TOW para cada intervalo, obtenemos los valores de emisión de CH<sub>4</sub> para la puesta en marcha de cada planta (tabla 7):

Planta	Línea de base	Expansión Planta Sud Oeste	Expansión Planta El Jaguel	Planta Lanús	Planta Fiorito	Planta “Del Bicentenario”
Toneladas/año de CH <sub>4</sub>	13.266	11.161	7.482	7.114	5.459	0

Tabla 7: Emisiones de CH<sub>4</sub> generadas en cada escenario.

Una vez obtenido el total de CH<sub>4</sub> por conexión de usuarios a la red cloacal, solo resta calcular el CO<sub>2</sub> equivalente de la quema de combustible fósil para la generación de energía eléctrica necesaria para la operación de las plantas en estudio.

Los datos obtenidos de potencia de cada planta, son los siguientes:

Para la planta Berazategui, 12 MW (pag. 31 de EIA 21).

Para la planta Fiorito, se prevé instalar para emergencias un grupo electrógeno de 2 MW.

<sup>1</sup> Si bien los valores de la Tabla 5 no son claros, el caso de estudio plantea el cálculo sobre un sector de la población específico, por lo que dicha variable se asume “1”. Dicha decisión deja sin efecto y salva la posible malinterpretación que genera la inconsistencia que surge de los datos por defecto de la tabla 5.

Dicho dato es el único que figura en el EIA de la planta mencionada, por lo que será tenido como el valor de potencia requerida para la operación.

Para la expansión de las plantas Sudoeste y El Jaguel, se prevé instalar para emergencias un grupo electrógeno de 1 MW.

Dicho dato es el único que figura en los EIA de dichas plantas, por lo que será tenido como el valor de potencia requerida para la operación.

Para la planta Lanús, y las plantas base Sudoeste y El Jaguel, como no se conoce el dato de diseño de potencia de operación, se calculó en forma de regla de tres simple.

La tabla 8 detalla los consumos de cada planta, y la situación final del sistema luego de cada nueva incorporación y consecuente demanda de energía.

kWh	Línea de base	Expansión Planta Sud Oeste	Expansión Planta El Jaguel	Planta Lanús	Planta Fiorito	Planta "Del Bicentenario"
PSO	1,874.00	<b>2,874.00</b>	2,874.00	2,874.00	2,874.00	2,874.00
El Jaguel	60.00	60.00	<b>1,060.00</b>	1,060.00	1,060.00	1,060.00
Fiorito	0.00	0.00	0.00	<b>2,000.00</b>	2,000.00	2,000.00
Lanús	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>450.00</b>	450.00
Bicentenario	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>12,000.00</b>
Total kWh	1,934.00	2,934.00	3,934.00	5,934.00	6,384.00	18,384.00
<b>Total MWh</b>	1.93	2.93	3.93	5.93	6.38	18.38

*Tabla 8: Consumo eléctrico.*

Los cálculos de la tabla precedente, se transforman a toneladas de CO<sub>2</sub> en la tabla 9, aplicando el factor de emisión de la Argentina<sup>30</sup> (0,54 toneladas CO<sub>2</sub> eq/ MWh).

Dicho factor es el margen de operación calculado para el año 2011 (Anexo 2).

MWh expresados en toneladas de CO <sub>2</sub> por año	Línea de base	Expansión Planta Sud Oeste	Expansión Planta El Jaguel	Planta Lanús	Planta Fiorito	Planta "Del Bicentenario"
PSO	8.863,57	13.593,33	13.593,33	13.593,33	13.593,33	13.593,33
El Jaguel	283,79	283,79	5.013,54	5.013,54	5.013,54	5.013,54
Fiorito	0,00	0,00	0,00	9.459,52	9.459,52	9.459,52
Lanús	0,00	0,00	0,00	0,00	2.128,39	2.128,39
Bicentenario	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56.757,11
	<b>9.147,36</b>	<b>13.877,12</b>	<b>18.606,87</b>	<b>28.066,39</b>	<b>30.194,78</b>	<b>86.951,89</b>

*Tabla 9: MWh expresado en toneladas de CO<sub>2</sub> eq.*

### Aplicación de la metodología, cálculo de N<sub>2</sub>O.

La metodología, para la fracción de N<sub>2</sub>O no presenta árboles de decisión y explicita que las emisiones directas derivadas de la nitrificación y desnitrificación en instalaciones de saneamiento, no solamente pueden considerarse menores dado que típicamente son menores que las provenientes de efluentes; y solo pueden interesar a países donde predominan este tipo de plantas, no siendo el caso de AySA que en el estudio presenta solo una planta de estas características y de baja capacidad de tratamiento.

Por otro lado, dicho sustento técnico de la metodología, es avalado por estudios como el realizado por la UNEP, específicamente en base a datos de Morée et al. (2013) y Van Drecht et al. (2003), donde se observa la diferencia de proporciones de 1 a 50 entre plantas y efluentes volcados directamente a cuerpos receptores.

Una vez definida la fracción a evaluar de N<sub>2</sub>O, se define cada variable a incluir en la ecuación de cálculo.

Como se mencionara previamente, y debido a la incertidumbre en los datos por defecto para el cálculo del N<sub>2</sub>O publicados en la metodología seleccionada, se decidió realizar con los mismos un análisis de sensibilidad, en la presentación final de datos.

Se recuerda que el análisis se realizará exclusivamente sobre los resultados finales, pero solo aplicado sobre la fracción de N<sub>2</sub>O.

Y que arbitrariamente, la sensibilidad aplicada al cálculo será de  $\pm 50\%$ .

Se aplicará en primer término, la ecuación 8 para calcular el nitrógeno total en efluentes:

#### **Ecuación 8**

Nitrógeno total en los efluentes.

$$N_{\text{efluente}} = (P \cdot \text{Proteína} \cdot F_{\text{NPR}} \cdot F_{\text{NON-CON}} \cdot F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{lodo}}$$

Donde:

**N<sub>EFLENTE</sub>** = cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales, kg. de N/año.

**P** = población humana.

**Proteína** = consumo per cápita anual de proteínas, kg./persona/año.

**F<sub>NPR</sub>** = fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0,16, kg. de N/kg. de proteína.

**F<sub>NON-CON</sub>** = factor de las proteínas no consumidas por la población añadidas a las aguas residuales.

**F<sub>IND-COM</sub>** = factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado.

**N<sub>LODO</sub>** = nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0), kg. de N/año.

Los términos adoptan los valores expresados en la tabla 10, provenientes de las diversas tablas proporcionadas por la metodología, excepto la proteína, en kg por persona por año, la cual se obtiene en el sitio web de la FAO (Valor para 2009).

Dichos términos además, quedan constantes en los distintos escenarios.

Proteína (Kg/Hab/Año) <sup>31</sup>	F <sub>npr</sub>	F <sub>non-con</sub>	F <sub>ind-com</sub>	Nlodo
33,87	0.16	1.1	1.25	0

*Tabla 10: Valores de ecuación 8.*

La única incógnita variable es P, ya que para cada escenario varía la cantidad de efluente dispuesto en cuerpo receptor, en base a la población cubierta con sistema de saneamiento.

La evolución de P puede observarse en la tabla 11.

Línea de base	Expansión Sud Oeste	Expansión El Jaguel	Lanús	Fiorito	Bicentenario
1.495.340	1.838.540	2.438.540	2.498.540	2.768.540	3.658.716

*Tabla 11: Evolución de la población con servicio sanitario.*

Los resultados de la aplicación de la fórmula pueden observarse en la tabla 12, la cual indica la cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales, kg. de N/año.

Línea de base	Expansión planta Sud Oeste	Expansión El Jaguel	Lanús	Fiorito	Del Bicentenario
11.143.034	13.700.505	18.171.609	18.618.720	20.630.717	27.264.166

*Tabla 12: Nitrógeno en efluente por escenario.*

Una vez obtenido el “N efluente”, podemos calcular la ecuación 7.

A continuación, se explica el significado de cada variable.

### **Ecuación 7**

#### **Emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de las aguas residuales efluentes**

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = N_{\text{efluente}} \cdot EF_{\text{efluente}} \cdot 44/28$$

Donde:

**Emisiones de N<sub>2</sub>O** = emisiones de N<sub>2</sub>O durante el año del inventario, kg. de N<sub>2</sub>O/año.

**N<sub>EFLUENTE</sub>** = nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg. de N/ año.

**EF<sub>EFLUENTE</sub>** = factor de emisión para las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg. de N<sub>2</sub>O/kg. de N.

El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg de N<sub>2</sub>O-N en kg de N<sub>2</sub>O.

Los valores para cada una de estas variables se obtienen de la ecuación anterior, el cuadro 10 y el valor de “N Efluente” en cada escenario.

En la tabla 13 pueden observarse los valores a aplicar:

N efluente	EF efluente	Conversión de Kg de N <sub>2</sub> O-N a kg de N <sub>2</sub> O
Ver valores en tabla 12	0.005	44/28

*Tabla 13: Valores a aplicar en ecuación 7.*

En base a estos datos, se obtienen los resultados de emisiones de N<sub>2</sub>O en cada escenario de inicio de operación de plantas, en Kg y en toneladas de N<sub>2</sub>O (tabla 14).

Unidad	Línea de base	Expansión planta Sud Oeste	Expansión El Jaguel	Lanús	Fiorito	Del Bicentenario
Kg	87.552,41	107.646,83	142.776,94	146.289,95	162.098,49	214.218,45
Toneladas	87,55	107,65	142,78	146,29	162,10	214,22

*Tabla 14: Valores de N<sub>2</sub>O en cada escenario.*

Los resultados finales, una vez realizado el análisis de sensibilidad, con variaciones de  $\pm$  50% sobre los valores de N<sub>2</sub>O pueden apreciarse en la tabla 15.

Variación del N <sub>2</sub> O en Toneladas de N <sub>2</sub> O	Línea de base 2010	Expansión planta Sud Oeste	Expansión planta El Jaguel	Lanús	Fiorito	Del Bicentenario
Base Metodología	88	108	143	146	162	214
Base +50%	131	161	214	219	243	321
Base -50%	44	54	71	73	81	107

*Tabla 15: Resultados del análisis de sensibilidad de la fracción N<sub>2</sub>O*

Como etapa final del punto 5, se presentan los resultados del estudio.

En primer lugar, se presenta la tabla 16 donde se observan la cantidad de toneladas por gas, en sus respectivas denominaciones y en cada escenario.

Variables por escenario	Línea de base 2010	Expansión planta Sud Oeste	Expansión El Jaguel	Lanús	Fiorito	Del Bicentenario
CH <sub>4</sub> difuso, generado en pozos ciegos (Tn)	13.266	11.161	7.482	7.114	5.459	0
CO <sub>2</sub> emisión indirecta (Consumo Eléctrico en planta) (Tn)	9.147	13.877	18.607	28.066	30.195	86.952
N <sub>2</sub> O generado en Cuerpo Receptor (Tn) según escenario.	88 / 131 / 44	108 / 161 / 54	143 / 214 / 71	146 / 219 / 73	162 / 243 / 81	214 / 321 / 107

Tabla 16: Toneladas de GEI por escenario.

En la tabla 17 puede observarse todos los resultados expresados en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Totales por especie	Línea de base 2010	Expansión planta Sud Oeste	Expansión planta El Jaguel	Lanús	Fiorito	Del Bicentenario
Total CH <sub>4</sub> (Tn)	331.646	279.033	187.053	177.855	136.464	0
Total CO <sub>2</sub> (Tn)	9.147	13.877	18.607	28.066	30.195	86.952
N <sub>2</sub> O base Metodología	26.091	32.079	42.548	43.594	48.305	63.837
N <sub>2</sub> O base +50%	39.136	48.118	63.821	65.392	72.458	95.756
N <sub>2</sub> O base -50%	13.045	16.039	21.274	21.797	24.153	31.919

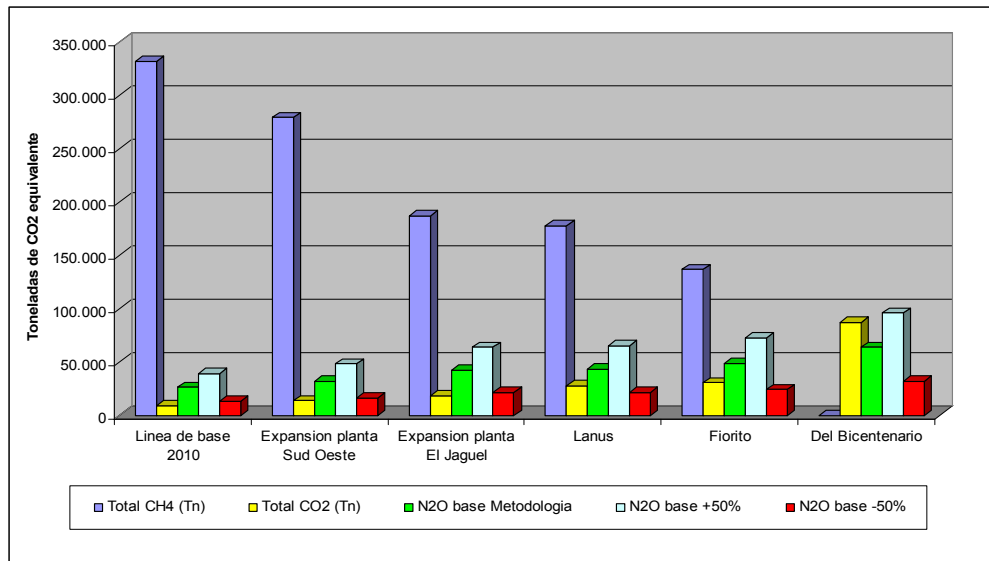
Tabla 17: Valores expresados en CO<sub>2</sub> equivalente

En el gráfico 1 se observa la contribución de cada GEI a cada escenario, en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Independientemente del comportamiento de cada especie por separado, la tendencia es un sendero de disminución de emisiones.

Cada incorporación de plantas de tratamiento al sistema, trae incorporada una disminución en la cantidad total de gases emitidos.

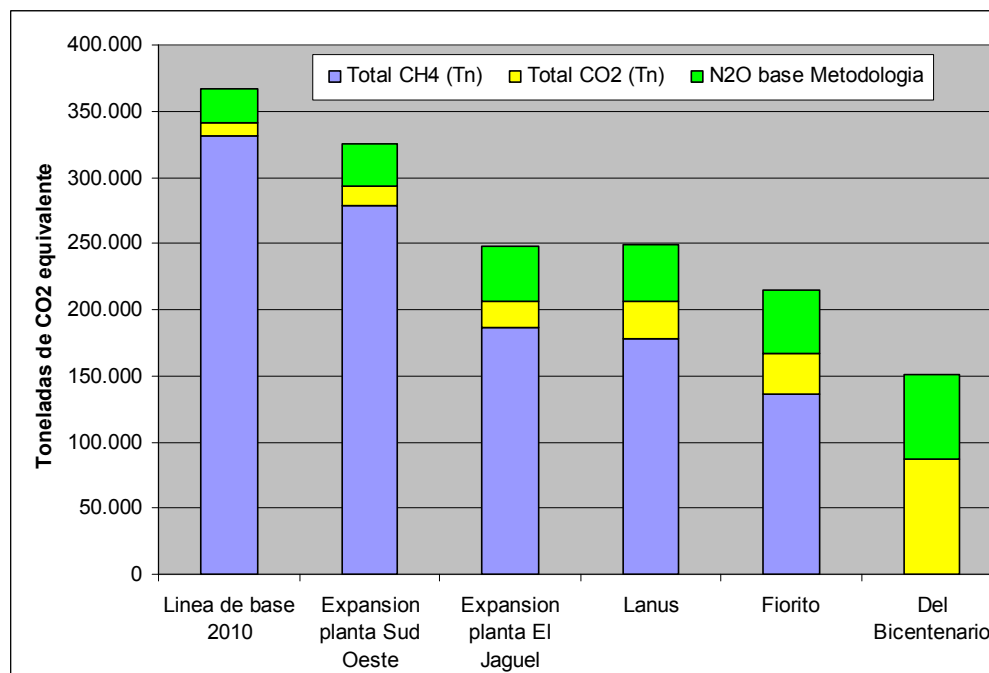




*Gráfico 1: contribución de cada especie a los distintos escenarios.*

En los gráficos 2, 3 y 4 podemos observar la contribución de cada especie, para cada escenario, según la variación generada en el análisis de sensibilidad.

También se observa la disminución global de gases generados.



*Gráfico 2: Análisis de sensibilidad con datos por defecto.*

En el gráfico dos, se observa cómo evolucionan las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, al calcular las mismas con los valores por defecto.

En el gráfico tres, al realizar el análisis de sensibilidad se observa el incremento de los valores de CO<sub>2</sub> equivalente por aplicación de una variación de +50% a los valores de emisión de la especie N<sub>2</sub>O, mostrando un crecimiento de las emisiones, pero manteniéndose en un sendero de emisiones descendente.

El gráfico cuatro señala el decremento de los valores equivalentes por aplicación una variación de -50% a la especie N<sub>2</sub>O en el análisis de sensibilidad.

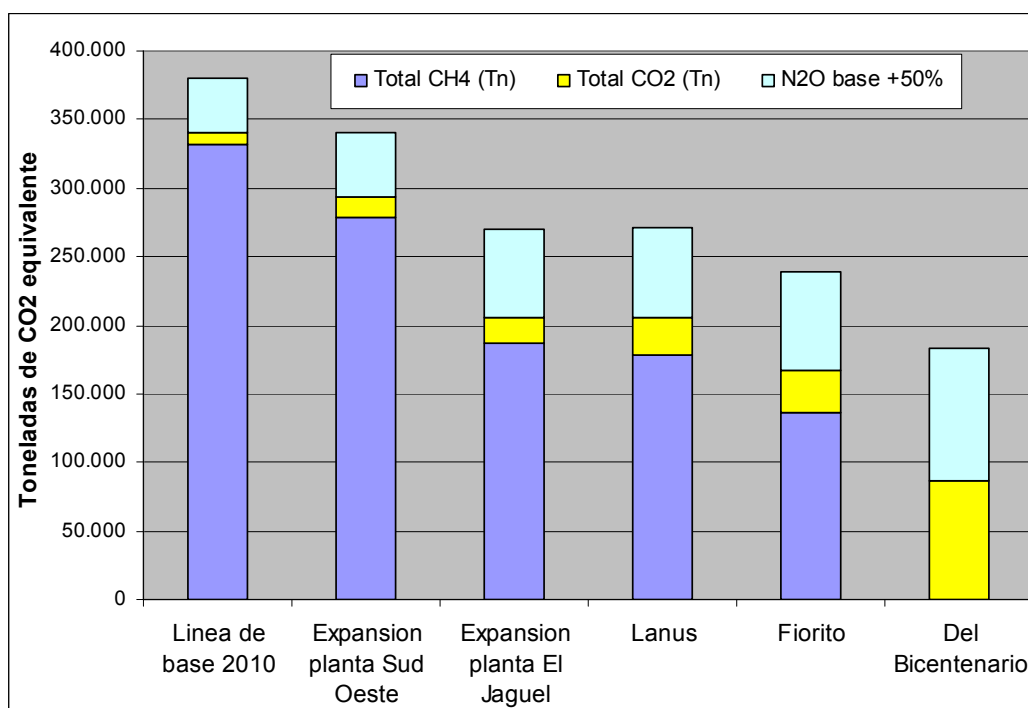
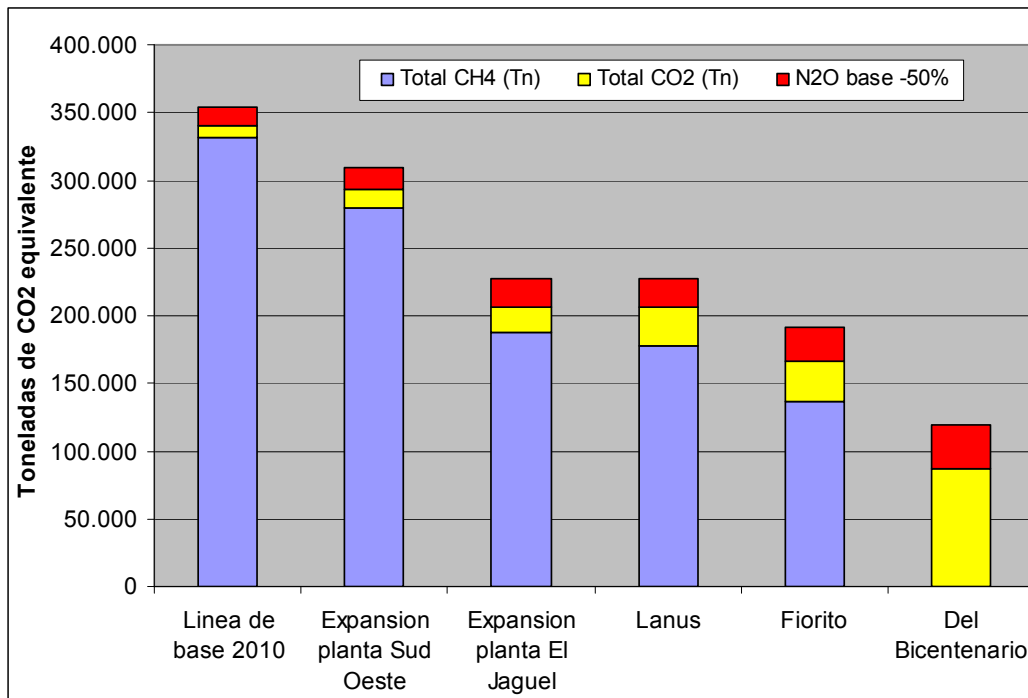


Gráfico 3: Análisis de sensibilidad, con variación de +50% de N<sub>2</sub>O.



*Gráfico 4: Análisis de sensibilidad, con variación de -50% de N<sub>2</sub>O.*

Finalmente, se presentan en la tabla 18 los valores finales integrados de todos los gases involucrados, incluyendo el análisis de sensibilidad realizado sobre el N<sub>2</sub>O, ya calculados en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Escenario	Línea de base 2010	Expansión planta Sud Oeste	Expansión planta El Jaguel	Lanús	Fiorito	Del Bicentenario
Base Metodología en CO <sub>2</sub> EQ	366.884	324.989	248.207	249.516	214.964	150.789
Base +50% N <sub>2</sub> O en CO <sub>2</sub> EQ	379.929	341.028	269.481	271.313	239.117	182.708
Base -50% N <sub>2</sub> O en CO <sub>2</sub> EQ	353.838	308.949	226.934	227.719	190.811	118.870

*Tabla 18: Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, según sensibilidad aplicada*

En el gráfico 5, puede observarse los resultados del análisis de sensibilidad, con las tres escenarios planteados, cruzados con la cantidad de usuarios sin servicio cloacal.

Se observa como varían la emisiones y la población sin cobertura desde la línea de base, en sus tres escenarios (Defecto, +50% y – 50%), y la entrada en régimen de las distintas plantas depuradoras al sistema cloacal.

Nuevamente, puede observarse la declinación del sendero de emisiones, acompañado de la incorporación de la población al sistema cloacal.

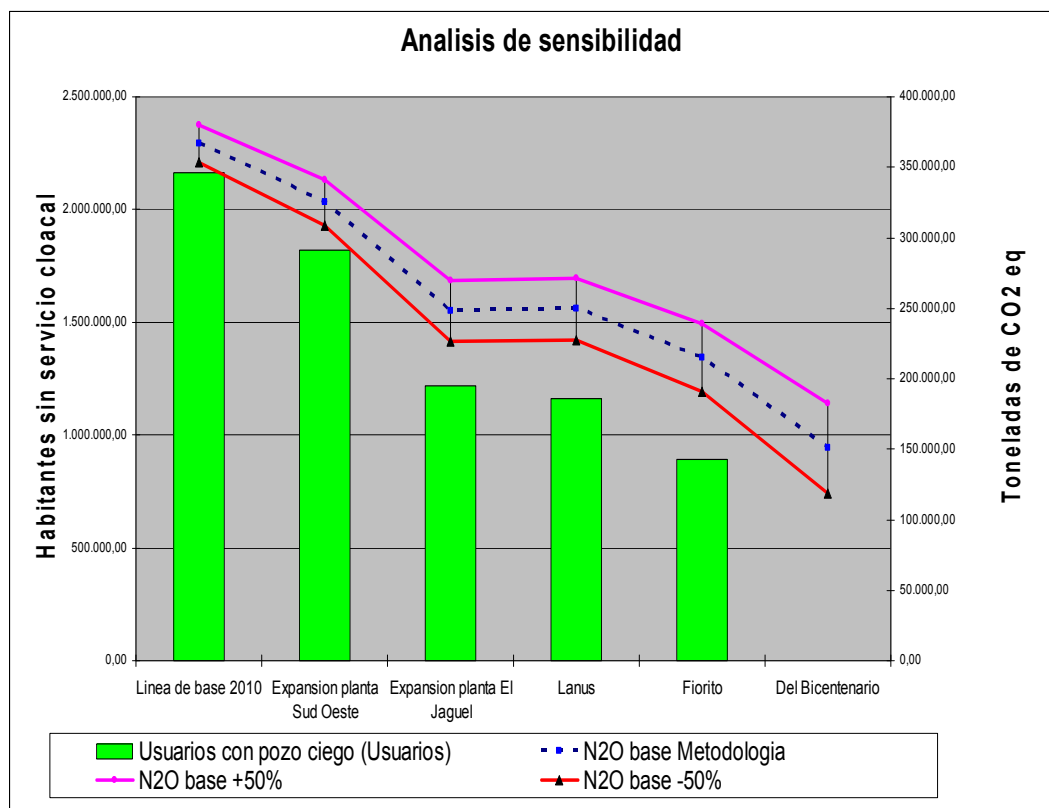


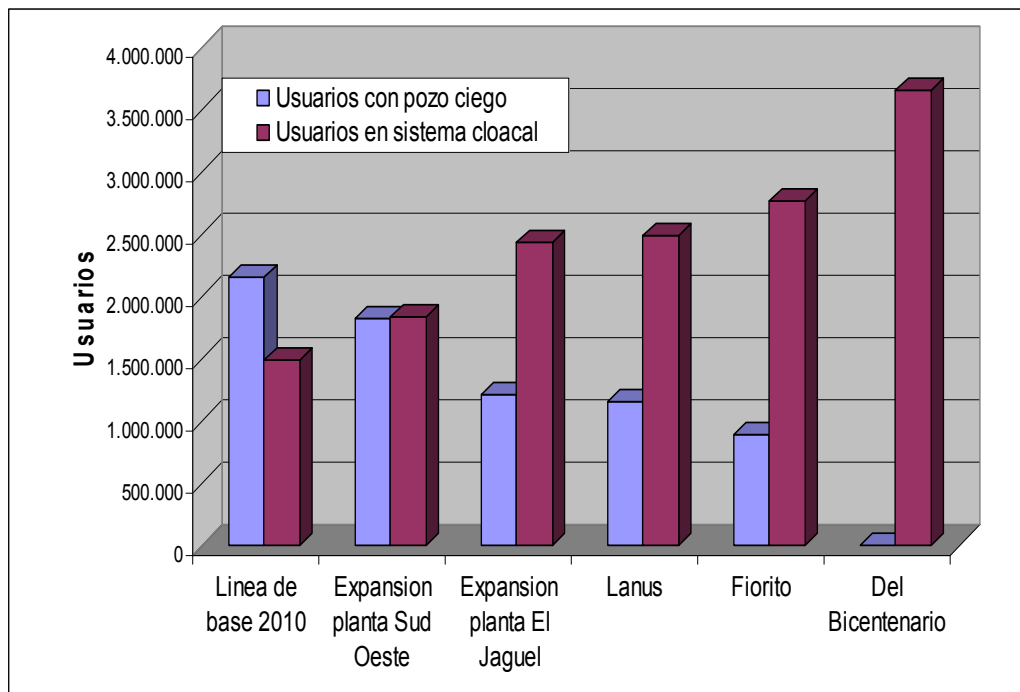
Gráfico 5: Análisis de sensibilidad y usuarios de pozo ciego.

Respecto de la evolución de la población según el tipo de tratamiento (cloaca o pozo ciego), sin tener en cuenta el crecimiento de la población en la región de estudio, la misma decrece en tratamiento de pozo ciego y crece en tratamiento cloacal en plantas depuradoras, situación que se observa claramente en la tabla 19.

Variables por escenario	Línea de base 2010	Expansión planta Sud Oeste	Expansión El Jaguel	Lanús	Fiorito	Del Bicentenario
Usuarios con pozo ciego (Usuarios)	2.163.376	1.820.176	1.220.176	1.160.176	890.176	0
Usuarios en sistema	1.495.340	1.838.540	2.438.540	2.498.540	2.768.540	3.658.716

*Tabla 19: Evolución de usuarios por sistema de tratamiento.*

Dicha evolución se puede apreciar en el gráfico 6, en el cual se observa el aumento de población afectada al sistema cloacal.



*Gráfico 6: Evolución de la población según el método de tratamiento utilizado.*

Y como ultimo gráfico (7), se presenta la evolución de CO<sub>2</sub> equivalente, entre el inicio y el fin del proyecto.

Se puede observar la disminución de GEI'S en los tres escenarios estudiados.

Este gráfico nos indica para cada escenario del análisis de sensibilidad, como variaron las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente entre la línea de base del año 2010 y la puesta en marcha de la planta del bicentenario, última etapa del proyecto en estudio.

Básicamente, se pasa de emitir (utilizando los datos por defecto) 366.884 toneladas de CO<sub>2</sub> a emitir 150.789 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que equivale a un ahorro del 58,90 % de GEI'S.

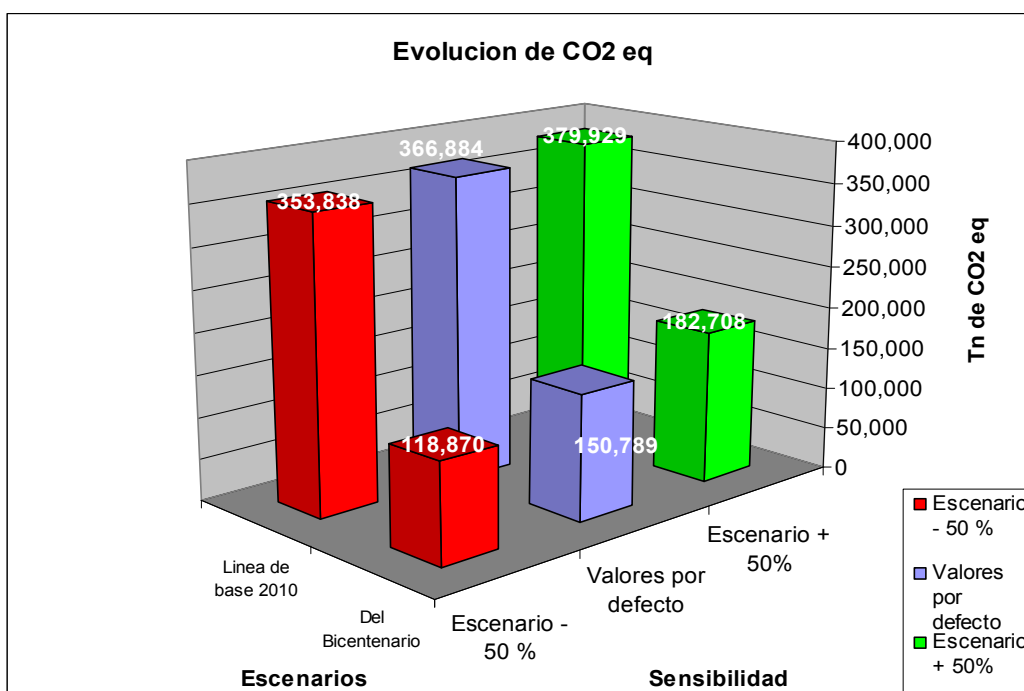


Gráfico 7: evolución de CO<sub>2</sub> eq.

Para el caso de un incremento del 50% en la estimación de N<sub>2</sub>O emitido, en la línea de base se estaría emitiendo 379.929 toneladas de CO<sub>2</sub>, pasando a emitir 182.708 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo cual significa que se deja de emitir un 51,91 % de gases de efecto invernadero.

Para el caso de un decremento del 50% en la estimación de N<sub>2</sub>O emitido, en la línea de base se estaría emitiendo 353.838 toneladas de CO<sub>2</sub>, pasando a emitir 118.870

toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, siendo el porcentaje de disminución de emisiones de un 66,41 %.

Con estos resultados, se puede avanzar en las conclusiones del trabajo.

## 6 CONCLUSIONES

- En vista a los datos obtenidos, se puede concluir que la incorporación de usuarios de pozos ciegos a la red cloacal llevada adelante por AySA, reduce la emisión de GEI'S difusos.

Según el escenario, se deja de emitir entre un 52 y un 66% de GEI'S.

- Una vez que el sistema implementado por AySA funcione con el 100% de plantas proyectado, el ahorro en GEI'S al año para el escenario calculado con los valores por defecto será de aproximadamente de 216.095 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que equivale, en función de la vida útil estimada de las plantas en estudio (por ejemplo, 100 años para la planta Del Bicentenario), aproximadamente a 21.609.453 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, teniendo en cuenta solo el universo de usuarios contemplado en el estudio (58,90% de menor emisión).

En el escenario de incremento de un 50 % de las emisiones de N<sub>2</sub>O, el ahorro será de 197.221 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente y 19.722.129 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente respectivamente (Disminución en el orden de 51,91 %).

Finalmente, para el caso de un decremento del 50 % de las emisiones de N<sub>2</sub>O, el ahorro será de 234.968 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente y 23.496.777 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente respectivamente (66,41 % menos de GEI'S).

Dado que la planta "Del Bicentenario" (Berazategui) tiene saldo positivo en capacidad de tratamiento, este valor será aún mayor.




- Otro beneficio colateral, es la eliminación en si de pozos ciegos, evitando la contaminación de acuíferos libres con nitritos y nitratos, más la generación de GEI'S asociados.
- Respecto de la calidad ambiental en relación a la emblemática causa Mendoza, la implementación de un sistema de saneamiento cloacal redundará en la mejora de la calidad de vida de aproximadamente dos millones de personas en forma directa (sin tener en cuenta el crecimiento poblacional), e indirectamente no solo de la cuenca en cuestión, sino de las cuencas asociados.
- Como beneficio adicional, es de esperar la reducción de enfermedades relacionadas a la falta de servicios sanitarios en la región.
- La variación obtenida en los valores finales luego del análisis de sensibilidad no presenta una magnitud alarmante, mas no es despreciable, por lo que se considera oportuno haber realizado dicho análisis.
- La incertidumbre observada en los valores por defecto presentados por la metodología para el cálculo del  $N_2O$  y la variación observada en los resultados del análisis de sensibilidad en los valores de  $N_2O$ , abren la oportunidad para realizar estudios de mayor profundidad y rigor en el cálculo de valores por defecto del IPCC para emisiones de  $N_2O$  en cuerpos de agua superficiales.
- Se recomienda incluso, llevar adelante dichas tareas en el Río de la Plata, dada la peculiar y característica dinámica única en el mundo de dicho cuerpo de agua.

- Finalmente, el saldo a favor en toneladas de CO<sub>2</sub>, podría ser aplicado en el mercado de carbono, siendo el valor de actual de la tonelada de CO<sub>2</sub> eq de 6.59 Euros<sup>32</sup>.
- A modo de ejemplo, si aplicáramos dicho valor a las emisiones evitadas en un año en el escenario por defecto, obtendríamos 1,4 millones de Euros.

## **7 ANEXOS**

## Anexo 1: Tabla del IPCC sobre potencial de calentamiento global



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

WMO UNEP

Language: [v] IPCC web pages: [v] Search: [v]

IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

**Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis**

[Contents](#) [2](#) [2.10](#) [2.10.2](#)

**2.10.2 Direct Global Warming Potentials**

All GWPs depend on the AGWP for CO<sub>2</sub> (the denominator in the definition of the GWP). The AGWP of CO<sub>2</sub> again depends on the radiative efficiency for a small perturbation of CO<sub>2</sub> from the current level of about 380 ppm. The radiative efficiency per kilogram of CO<sub>2</sub> has been calculated using the same expression as for the CO<sub>2</sub> RF in [Table 2.3.1](#), with an updated background CO<sub>2</sub> mixing ratio of 378 ppm. For a small perturbation from 378 ppm, the RF is 0.01413 W m<sup>-2</sup> ppm<sup>-1</sup> (8.7% lower than the TAR value). The CO<sub>2</sub> response function (see [Table 2.1.6](#)) is based on an updated version of the Bern carbon cycle model (Bern2-SCC; Joos et al. 2001), using a background CO<sub>2</sub> concentration of 378 ppm. The increased background concentration of CO<sub>2</sub> means that the airborne fraction of emitted CO<sub>2</sub> ([Equation 2.4](#)) is enhanced, contributing to an increase in the AGWP for CO<sub>2</sub>. The AGWP values for CO<sub>2</sub> for 20, 100, and 500 year time horizons are 2.47 × 10<sup>-14</sup>, 8.59 × 10<sup>-14</sup>, and 28.6 × 10<sup>-14</sup> W m<sup>-2</sup> yr (kg CO<sub>2</sub>)<sup>-1</sup>, respectively. The uncertainty in the AGWP for CO<sub>2</sub> is estimated to be ±15%, with equal contributions from the CO<sub>2</sub> response function and the RF calculation.

Updated radiative efficiencies for well-mixed greenhouse gases are given in [Table 2.1.4](#). Since the TAR, radiative efficiencies have been reviewed by Montzka et al. (2003) and Velders et al. (2005). Gohar et al. (2004) and Forster et al. (2005) investigated HFC compounds, with up to 40% differences from earlier published results. Based on a variety of radiative transfer codes, they found that uncertainties could be reduced to around 12% with well-constrained experiments. The HFCs studied were HFC-23, HFC-32, HFC-134a and HFC-227ea. Hurley et al. (2005) studied the infrared spectrum and RF of perfluoromethane (CF<sub>4</sub>) and derived a 30% higher GWP value than given in the TAR. The RF calculations for the GWPs for CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and halogen-containing well-mixed greenhouse gases employ the simplified formulae given in Ramaswamy et al. (2001; see [Table 2.2](#) of the TAR). [Table 2.1.4](#) gives GWP values for time horizons of 20, 100 and 500 years. The species in [Table 2.1.4](#) are those for which either significant concentrations or large trends in concentrations have been observed or a clear potential for future emissions has been identified. The uncertainties of these direct GWPs are taken to be ±35% for the 5 to 95% (90%) confidence range.

*Table 2.1.4. Lifetimes, radiative efficiencies and direct (except for CH<sub>4</sub>) GWPs relative to CO<sub>2</sub>. For ozone-depleting substances and their replacements, data are taken from IPCC/TEAP (2005) unless otherwise indicated.*

**Table**

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m <sup>-2</sup> ppb <sup>-1</sup> )	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR <sup>a</sup> (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	See below <sup>a</sup>	1.4 × 10 <sup>-5</sup>	1	1	1	1
Methane <sup>b</sup>	CH <sub>4</sub>	12 <sup>c</sup>	3.7 × 10 <sup>-6</sup>	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	114	3.03 × 10 <sup>-3</sup>	310	289	298	153
<b>Substances controlled by the Montreal Protocol</b>							
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF <sub>3</sub>	640	0.25	10,800	14,400	16,400	16,400
CFC-113	CCl <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CCF <sub>2</sub> CCF <sub>2</sub>	300	0.21	8,040	10,000	8,730	8,730
CFC-115	CCF <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	1,700	0.18	5,210	7,370	8,990	8,990
Halon-1301	CBrF <sub>3</sub>	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,780
Halon-1211	CBrClF <sub>2</sub>	16	0.3	4,750	1,890	575	575
Halon-2402	CBrF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	20	0.33	3,680	1,640	503	503
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Methyl bromide	CH <sub>3</sub> Br	0.7	0.01	17	5	1	1
Methyl chloroform	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	5	0.06	506	146	45	45
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHClCF <sub>3</sub>	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClCF <sub>2</sub>	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH <sub>3</sub> CCl <sub>2</sub> F	9.3	0.14	2,250	725	220	220
HCFC-142b	CH <sub>3</sub> COF <sub>2</sub>	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ea	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1.9	0.2	429	122	37	37
HCFC-225eb	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	5.8	0.32	2,030	595	181	181
<b>Hydrofluorocarbons</b>							
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	4.9	0.11	650	2,330	675	205
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
HFC-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	32	0.13	3,800	5,690	4,470	1,590
HFC-152a	CH <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	1.4	0.09	140	437	124	38
HFC-227ea	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	34.2	0.26	2,900	5,210	3,220	1,040
HFC-236ea	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	240	0.28	6,300	8,100	8,810	7,660
HFC-245ea	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	7.6	0.28	3,380	6,030	314	314
HFC-365emb	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	8.6	0.21	2,520	794	241	241
HFC-43-10mee	CF <sub>3</sub> CH=CHFCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500

91

Sulphur hexafluoride	SF <sub>6</sub>	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Nitrogen trifluoride	NF <sub>3</sub>	740	0.21		12,300	17,300	20,700
PFC-14	CF <sub>4</sub>	50,000	0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
PFC-116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10,000	0.26	8,200	8,630	12,200	18,200

Table 2.14 (continued)

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m <sup>-2</sup> ppb <sup>-1</sup> )	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAF6 (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Perfluorinated compounds (continued)							
PFC-210		2,600	0.26	7,000	6,310	8,830	12,500
PFC-310		3,200	0.32	8,700	7,310	10,200	14,700
PFC-3-1-10		2,600	0.33	7,000	6,330	8,860	12,500
PFC-4-1-12		4,100	0.41		6,510	9,160	13,300
PFC-5-1-14		3,200	0.49	7,400	6,630	9,300	13,300
PFC-6-1-16		>1,000d	0.56		>5,500	>7,500	>9,500
trifluoromethyl sulphur pentafluoride		800	0.57		13,200	17,700	21,200
Fluorinated ethers							
HFE-125		136	0.44		13,800	14,900	8,490
HFE-134		26	0.45		12,200	6,320	1,980
HFE-143a		4.3	0.27		2,630	756	230
HFE-235da2		2.6	0.38		1,230	350	106
HFE-245cb2		5.1	0.32		2,440	708	215
HFE-245b2		4.9	0.31		2,280	659	200
HFE-254cb2		2.6	0.28		1,260	359	109
HFE-347mcc3		5.2	0.34		1,980	575	175
HFE-347pc2		7.1	0.25		1,930	580	175
HFE-359pcc3		0.33	0.93		366	110	33
HFE-646a1 (HFE-7100)		3.8	0.31		1,040	297	90
HFE-696a2 (HFE-7200)		0.77	0.3		207	59	18
HFE-63-10pcc124 (H-Galden 1040c)		6.3	1.37		6,320	1,870	569
HFE-236ca12 (HG-10)		12.1	0.66		8,090	2,800	860
HFE-330pcc12 (HG-G1)		6.2	0.87		5,190	1,500	460
Perfluoropolyethers							
PFPE		800	0.65		7,620	10,300	12,400
Hydrocarbons and other compounds – Direct Effects							
Dimethylether		0.015	0.02		1	1	>>1
Methylene chloride		0.38	0.03		31	8.7	2.7
Methyl chloride		1.0	0.01		45	13	4

**Notes:**

\* The CO<sub>2</sub> response function used in this report is based on the revised version of the Bern Carbon cycle model used in Chapter 10 of this report (Bern2.5CC; Joos et al. 2001) using a background CO<sub>2</sub> concentration value of 378 ppm. The decay of a pulse of CO<sub>2</sub> with time  $t$  is given by

$$C(t) = \sum_{i=1}^3 a_i \cdot e^{-t/\tau_i}$$

Where  $a_1 = 0.217$ ,  $a_2 = 0.259$ ,  $a_3 = 0.338$ ,  $\tau_1 = 0.186$ ,  $\tau_2 = 172.9$  years,  $\tau_3 = 18.51$  years, and  $\tau_4 = 1.186$  years.

† The radiative efficiency of CO<sub>2</sub> is calculated using the IPCC (1996) simplified expression as revised in the TAR, with an updated background concentration value of 378 ppm and a perturbation of +1 ppm (see Section 2.10.2).

‡ The perturbation lifetime for methane is 12 years as in the TAR (see also Section 7.4). The GWP for methane includes indirect effects from enhancements of ozone and stratospheric water vapour (see Section 2.10.3.3).

§ Shine et al. (2005c), updated by the revised AGWP for CO<sub>2</sub>. The assumed lifetime of 1,000 years is a lower limit.

¶ Hurley et al. (2005)

‡ Robson et al. (2006)

§ Young et al. (2006)

## Anexo 2: Cálculo de factor de Emisión (Secretaría de Energía)



### CALCULO DEL FACTOR DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DE LA RED ARGENTINA DE ENERGIA ELECTRICA. AÑO 2011.

#### OBJETIVO

Para la presentación de proyectos del sector eléctrico ante el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) se puede requerir la utilización del factor de emisiones de la red, esto es la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que resulta de la producción de una unidad de energía eléctrica.

Con el propósito de fomentar el desarrollo de proyectos MDL conectados a la Red, la Secretaría de Energía y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, han realizado los cálculos correspondientes a la red argentina. Los resultados se incluyen en este documento.

Los cálculos de este factor se han realizado siguiendo la herramienta metodológica para calcular el factor de emisión para un sistema eléctrico aprobada por la Junta Ejecutiva del Mecanismo para un Desarrollo Limpio, utilizando la herramienta: "Tool to calculate the emission factor for an electricity system. Version 02.2.1" para los datos correspondientes al año 2011.

<http://odm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v2.2.1.pdf>

El factor de emisiones así calculado puede ser utilizado por proyectos:

- de generación de energía a partir de fuentes renovables conectados a la red eléctrica argentina;
- que reduzcan el consumo de electricidad de la red eléctrica argentina;
- que consuman energía eléctrica de la red eléctrica argentina.

#### ACLARACIONES

Para aplicar la metodología al caso de la red Argentina, se han adoptado los siguientes criterios:

- Unidades de bajo costo: Se define como unidades de bajo costo a las hidroeléctricas y a las nucleares<sup>1</sup>.
- Para el cálculo del margen de operación de algunos autogeneradores y cogeneradores, faltan algunos datos ya que CAMMESA no posee información sobre sus consumos de combustible. En ese caso se ha adoptado el criterio de que si no se tiene el consumo de combustible de un autogenerador o no se puede distinguir del consumo total (incluyendo consumos de proceso industrial), se adopta como FE (factor de emisión) cero.
- Para mayor claridad, se han incluido en las hojas de la planilla de cálculo, las fórmulas correspondientes de la herramienta metodológica.
- En el paso 2 elección de la inclusión o no de unidades que se encuentren fuera del Sistema Argentino de Interconexión, se ha optado por la opción I: solamente se incluirán en los cálculos las unidades que se encuentran conectadas a la red del Sistema Argentino de Interconexión.
- Las importaciones se toman con valor 0 tCO<sub>2</sub>/MWh.
- Las emisiones por consumo de biodiesel (DD) no se consideran, siguiendo lo indicado en el herramienta metodológica.

#### DATOS BASICOS E INFORMACION UTILIZADA

- Factor de Emisión por combustible: carbón, diesel, fuel oil y gas natural (tCO<sub>2</sub> por unidad de combustible). Datos: 2ª Comunicación Nacional
- Generación de Electricidad (MWh) de cada planta conectada a la Red. Datos: CAMMESA

<sup>1</sup> Corresponde a las "low cost power plant" definidas en la herramienta metodológica.





SECRETARÍA DE ENERGÍA

- Consumo de Combustible de cada planta conectada a la Red. Datos: CAMMESA y Secretaría de Energía
- Información de adiciones de plantas a la red. Datos: CAMMESA y Secretaría de Energía.

#### BASES DEL CALCULO Y ALCANCE

El factor de emisiones se calcula como un Margen Combinado (CM), que consiste en un promedio ponderado de dos factores, el margen de construcción y el margen de operación.

$$CM = w_{BM} \times BM + w_{OM} \times OM$$

Donde

BM es Margen de Construcción y OM es Margen de Operación.

$w_{BM}$  y  $w_{OM}$  son factores de ponderación, en general el valor a adoptar es 0,5.

El Margen de Construcción estima el factor de emisión (FE) de las nuevas plantas que hubiesen sido construidas en lugar del proyecto MDL propuesto, mientras que el Margen de Operación estima el factor de emisiones de las plantas que hubiesen operado en lugar del proyecto MDL propuesto.

Se debe elegir si BM y OM se calcularán ex-ante (como promedio de los tres últimos años disponibles al momento de presentar el proyecto), o ex-post (según la información de cada año en que se produce la generación del proyecto). Esto debe especificarse en el Documento de Diseño de Proyecto (PDD).

#### CALCULO DE MARGEN DE CONSTRUCCION

La herramienta metodológica prevé dos alternativas para el cálculo de BM:

- FE promedio de las últimas 5 máquinas incorporadas.
- FE promedio de las últimas máquinas incorporadas correspondientes al 20% de la energía total generada en el año.

Se debe adoptar la alternativa que más energía incluya. De acuerdo a los cálculos realizados se debe utilizar la segunda alternativa.

Se identifica el conjunto de unidades que comprende el 20% de la generación de energía eléctrica sin las unidades que se encuentran registradas como proyectos MDL (paso C del Tool).

En el listado de las unidades del margen de construcción, se observa que las unidades Energía del Sur PATATVD1 y la Central Hidroeléctrica Caracoles se encuentran registradas como proyectos MDL (Paso D del Tool).

Luego como el listado incluye a unidades con antigüedad mayor a 10 años, se excluyen las unidades de más de 10 años y se incluyen las unidades Energía del Sur PATATV 01 y la Central Hidroeléctrica Caracoles (correspondientes proyectos MDL registrados). Como no se alcanza al 20% de la generación de energía excluyendo las unidades de 10 años e incluyendo las registradas en el MDL, se procede al Paso E del Tool, incluyendo en el conjunto de unidades, las de más de 10 años de antigüedad y las unidades que se encuentran registradas como proyectos MDL.

Los cálculos se pueden ver en la hoja de la planilla correspondiente al margen de construcción.

Para determinar la fecha de construcción se ha establecido el siguiente criterio:

- Si la planta o máquina entró recientemente en el listado de CAMMESA, pero de la autorización o de otra información surge que la fecha en que la máquina fue construida y empezó a generar (aunque sea fuera de la red) fue anterior a la tomada por CAMMESA, entonces para decidir si se incorporará en el listado se ha tomado la fecha más antigua.



SECRETARÍA DE ENERGÍA

## **CÁLCULO DEL MARGEN DE OPERACIÓN**

Para el cálculo de OM, la metodología prevé cuatro opciones:

- 1) Promedio. Promedio de todas las máquinas.
- 2) Simple. Promedio de las máquinas térmicas.
- 3) Simple ajustado. Variante del simple, en el caso en que máquinas de bajo costo estén en el margen en algunas horas.
- 4) Análisis de despacho. Promedio de las máquinas que estén en el 10% más alto del orden de mérito del despacho. Requiere cálculo horario.

Los proyectos de pequeña escala, y en general los de eficiencia y los que consumen energía de la red pueden usar cualquiera de las cuatro opciones.

Para el cálculo ex ante se debe tomar el promedio de los tres últimos años y para el cálculo ex post se debe tomar la información del año en que la generación (o el ahorro, o el consumo) se produce.

El margen de operación calculado a través del método simple, se define como el promedio ponderado de las emisiones por unidad de generación de energía de todas las plantas que generan para el sistema, sin incluir las unidades de generación de bajo costo.

De acuerdo con la herramienta metodológica el cálculo del método simple se puede realizar únicamente si la energía generada de bajo costo constituye menos del 50 % de la generación total en la red, para el promedio de los 5 años más recientes.

Se desarrollan en este documento los cálculos de las opciones 2) y 4).

La opción del cálculo a través del método simple se realiza por la opción B.

### **MÉTODO SIMPLE**

El margen de operación calculado a través del método simple, se define como el promedio ponderado de las emisiones por unidad de generación de energía de todas las plantas que generan para el sistema, sin incluir las unidades de generación de bajo costo.

Según lo establecido en la herramienta metodológica, el cálculo del método simple se puede realizar únicamente si la energía generada de bajo costo constituye menos del 50 % de la generación total en la red, para el promedio de los 5 años más recientes. En la hoja de la planilla llamada "5 años" se incluye el cálculo de ese promedio.

De acuerdo a las proporciones calculadas, se debe usar el método Simple para realizar el cálculo del factor de emisión. El cálculo se incluye en la hoja denominada OM SIMPLE.

Ecuaciones:



$$EF_{grid,OMsimple,y} = \frac{\sum_i (FC_{i,y} \times NCV_{i,y} \times EF_{CO_2,i,y})}{EG_y} \quad (7)$$

$FC_{i,y}$	Cantidad de combustible fósil tipo i consumido en el sistema de electricidad del proyecto en el año y.
$NCV_{i,y}$	Valor calorífico neto (contenido neto de energía) del combustible fósil tipo i en el año y (unidad de masa o volumen)
$EF_{CO_2,i,y}$	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> del combustible i en el año y
$EG_y$	Electricidad neta generada y entregada a la red por todas las unidades que sirven a la red sin incluir la generación de bajo costo en el año y (MWh)
i	Todos los tipos de combustibles fósiles consumidos en las unidades que sirven a la red en el año y
y	Año del proyecto para el cual los datos son seleccionados

#### METODO DE ANALISIS DE DESPACHO

El Margen de Operación según esta opción se calcula en base a las unidades que estén en el tope del despacho en cada hora.

Se utilizó información provista por CAMMESA para la realización de los cálculos de los factores de emisión horarios. Se utilizó la generación y consumo de combustible asociado por tipo (Gas Natural, Carbón, Fuel Oil, Gas Oil) utilizado por las máquinas que cubrieron el diez por ciento (10%) de la generación de mayor costo en cada hora. Los cálculos incluyen todas las máquinas que generaron energía y fueron despachadas.

Los cálculos se incluyen en la hoja "Método de despacho", con el margen de operación para cada hora.

$$EF_{EL,DD,h} = \frac{\sum_{i,h} FC_{i,n,h} \cdot NCV_{i,y} \cdot EF_{CO_2,i,y}}{\sum_n EG_{n,h}}$$

$EF_{EL,DD,h}$	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para unidades que entregan energía a la red en la parte superior del orden de despacho en la hora h en el año y (tCO <sub>2</sub> /MWh)
$FC_{i,n,h}$	Cantidad de combustible tipo i consumido por la potencia de la red en la hora h (unidades de masa o de volumen)



SECRETARÍA DE ENERGÍA

$NCV_{i,y}$

Valor calorífico neto (contenido de energía) del combustible fósil tipo  $i$  en el año  $y$

$EF_{CO_2,i,y}$

Factor de emisión del combustible tipo  $i$  en el año  $y$

$EG_{n,h}$

Electricidad generada y entregada a la red por la unidad  $n$  en la hora  $h$  (MWh)

$n$

Unidades en la parte superior del despacho

$i$

Tipos de combustibles fósiles consumidos en la unidad  $n$  que sirve a la red en el año  $y$

$h$

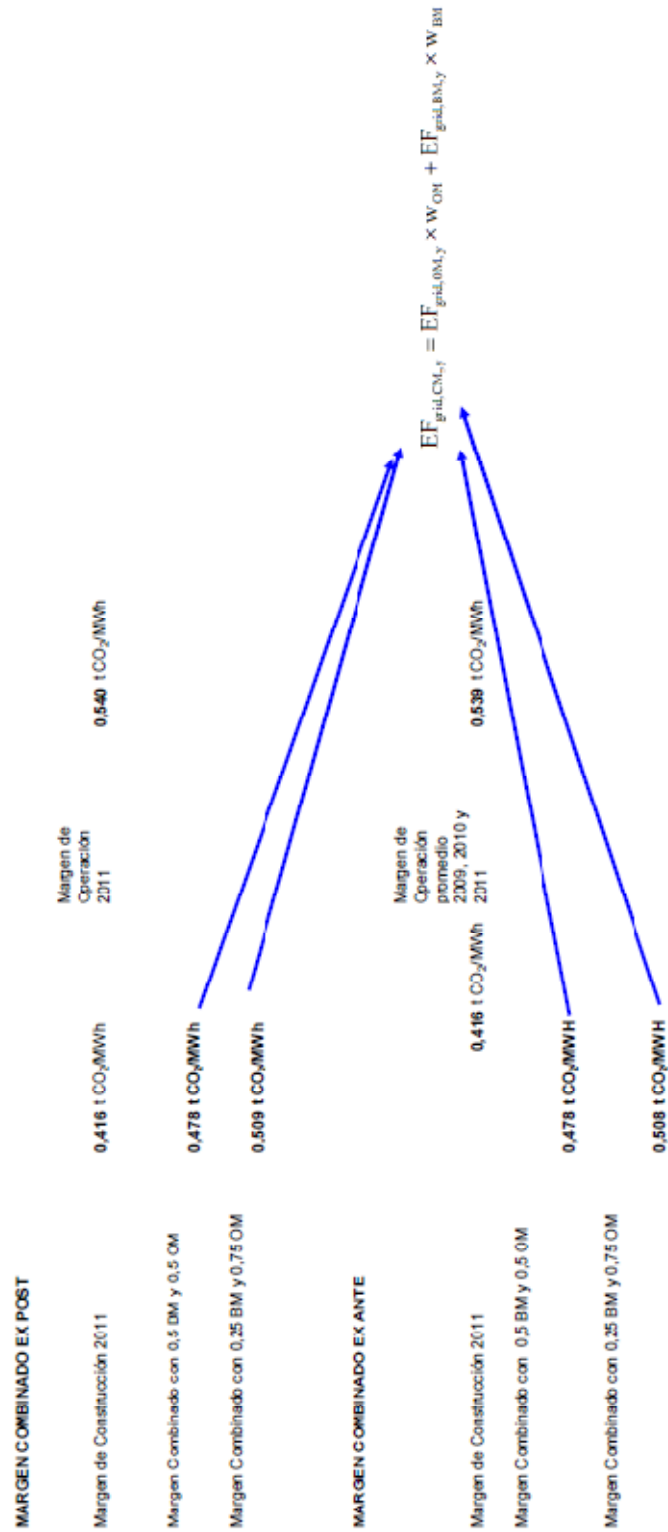
Horas en el año  $y$  en las que el proyecto se encuentra desplazando electricidad de la red

$y$

Año en el que el proyecto se encuentra desplazando electricidad de la red

#### CÁLCULO DEL MARGEN COMBINADO

Sólo se incluye el cálculo para la opción de Margen de Operación calculado por el método Simple. Para la opción de cálculo según el método de Análisis de Despacho, se requieren cálculos horarios, considerando la energía generada (o consumida o ahorrada) por cada proyecto. Los resultados se incluyen en la hoja "Cálculo del FE".



FACTORES DE EMISIÓN				
Cm	CO <sub>2</sub>	GO (Gas oil)	FO (Fuel oil)	NG (gas natural)
Carbon (mineral)	2.803	3.178	3.197	1.951
CO <sub>2</sub>	1002/t	1002/t	1002/t	1002/dm3

AÑO 2011	COMBUSTIBLES				EMISIONES (CO <sub>2</sub> )				TOTAL (ton CO <sub>2</sub> )
	Carbon (ton)	Gas oil (ton)	Fuel oil (ton)	Gas (dm3)	Carbon	Gas oil	Fuel oil	Gas	
	999.005	1.660.765	2.543.904	12.684.027	2.800.211	5.274.590	8.132.862	24.746.536	40.964.199

#### MARGEN DE OPERACIÓN EX ANTE

	Año 2011	Año 2010	Año 2009
Generación Térmica (MWh)	73.439.302	66.231.292	61.339.111
Importaciones (MWh)	2.411.965	2.351.910	2.040.098
total	75.851.267	68.583.202	63.379.209
Generación Hidráulica (MWh)	319.251.194	40.226.935	40.318.305
Generación Nuclear (MWh)	5.892.364	6.091.638	7.588.703

Emisiones (CO <sub>2</sub> )	40.964.199	36.572.777	34.432.572
Margen de Operación	0.540	0.533	0.543

Margen Operación ex ante 0.539 tCO<sub>2</sub>/MWh

Margen de Operación ex post

0.540 tCO<sub>2</sub>/MWh

→  $EG_y$

$$\sum (FC_{i,y} \times NCV_{i,y} \times EF_{CO_2,i,y})$$

tCO<sub>2</sub>/MWh

→

$EF_{grid,OMsimple,y}$

→  $EF_{grid,OMsimple,y}$

$$EF_{grid,OMsimple,y} = \frac{\sum (FC_{i,y} \times NCV_{i,y} \times EF_{CO_2,i,y})}{EG_y}$$

## DATOS

Factor de emisión por combustible

Combustible	Factores de Emisión
Gas Natural (NG)	1,951 tCO <sub>2</sub> /dam <sup>3</sup>
Fuel Oil (FO)	3,197 tCO <sub>2</sub> /t
Gas oil (GO)	3,176 tCO <sub>2</sub> /t
CMi (Carbón Mineral) Nacional	2,335 tCO <sub>2</sub> /t
CMi (Carbón Mineral) Importado	2,803 tCO <sub>2</sub> /t

(Fuente : Segunda Comunicación Nacional Argentina, Pág. 197)

Densidad del Gasoil	0,825 t/m <sup>3</sup>
---------------------	------------------------

Los cálculos de despacho 2011 y de margen de construcción de despacho 2011, no se incluyen en el anexo, por ser tablas de más de 800 páginas entre los dos.

Para su consulta, se puede acceder al link ubicado en el punto “8) Referencias”.

*Anexo 3: Abreviaturas*

**AySA:** Agua y Saneamientos Argentinos S.A.

**CABA:** Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

**CMR:** Cuenca Matanza Riachuelo.

**CSJN:** Corte Suprema de Justicia de la Nación.

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno.

**EIA:** Estudio de Impacto Ambiental.

**EN:** Estado Nacional.

**EQ:** Equivalente.

**FAO:** Food and Agriculture Organization

**GEIS:** Gases de efecto invernadero.

**INDEC:** Instituto nacional de Estadísticas y Censo.

**IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change.

**ISO:** International Standard Organization.

**KW/H:** Kilo Watt Hora.

**MCF:** Methane Correction Factor (Factor de corrección del metano).

**MW/H:** Mega Watt Hora.

**OMS:** Organización Mundial de la Salud.

**PBA:** Provincia de Buenos Aires.

**PCG:** Potencial de Calentamiento Global.

**TOW:** Total Organic Waste.

**UNEP:** United Nations Environment Programme.

#### Anexo 4: Análisis de sensibilidad del Metano

Como anexo, se calculan los resultados de base, junto a un análisis de sensibilidad sobre los valores de metano<sup>2</sup>.

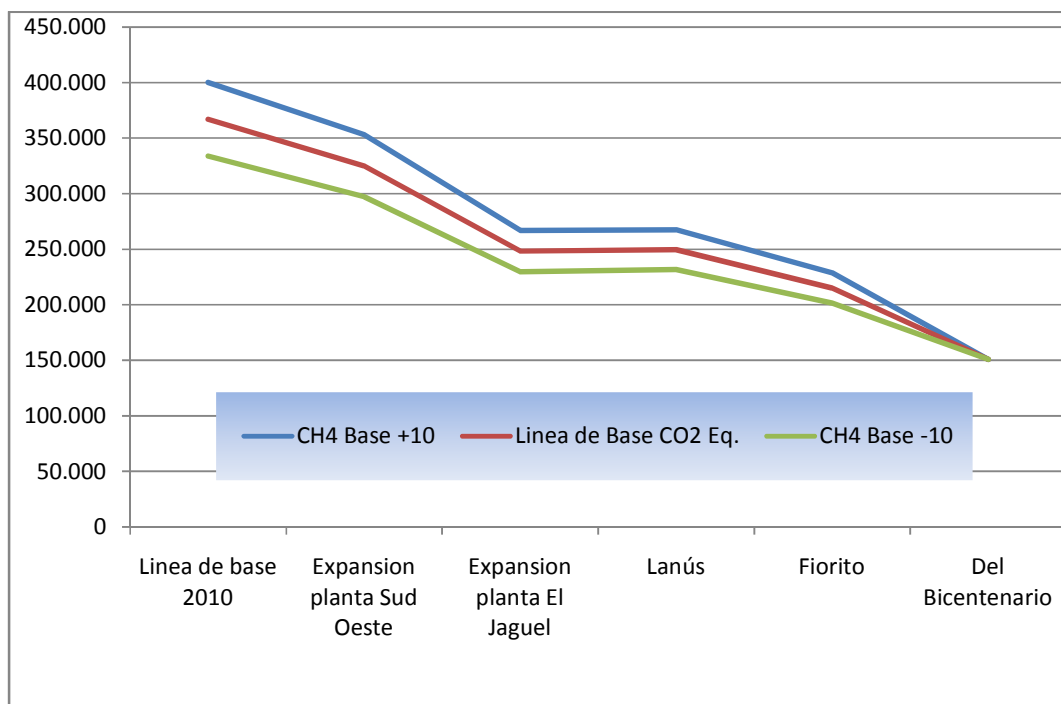
Se toma como anexo, dada la baja incertidumbre frente a los valores por defecto de la fracción de metano que presenta la metodología.

La variación tenida en cuenta será de +/- 10 %.

Los resultados obtenidos se visualizan en el siguiente cuadro:

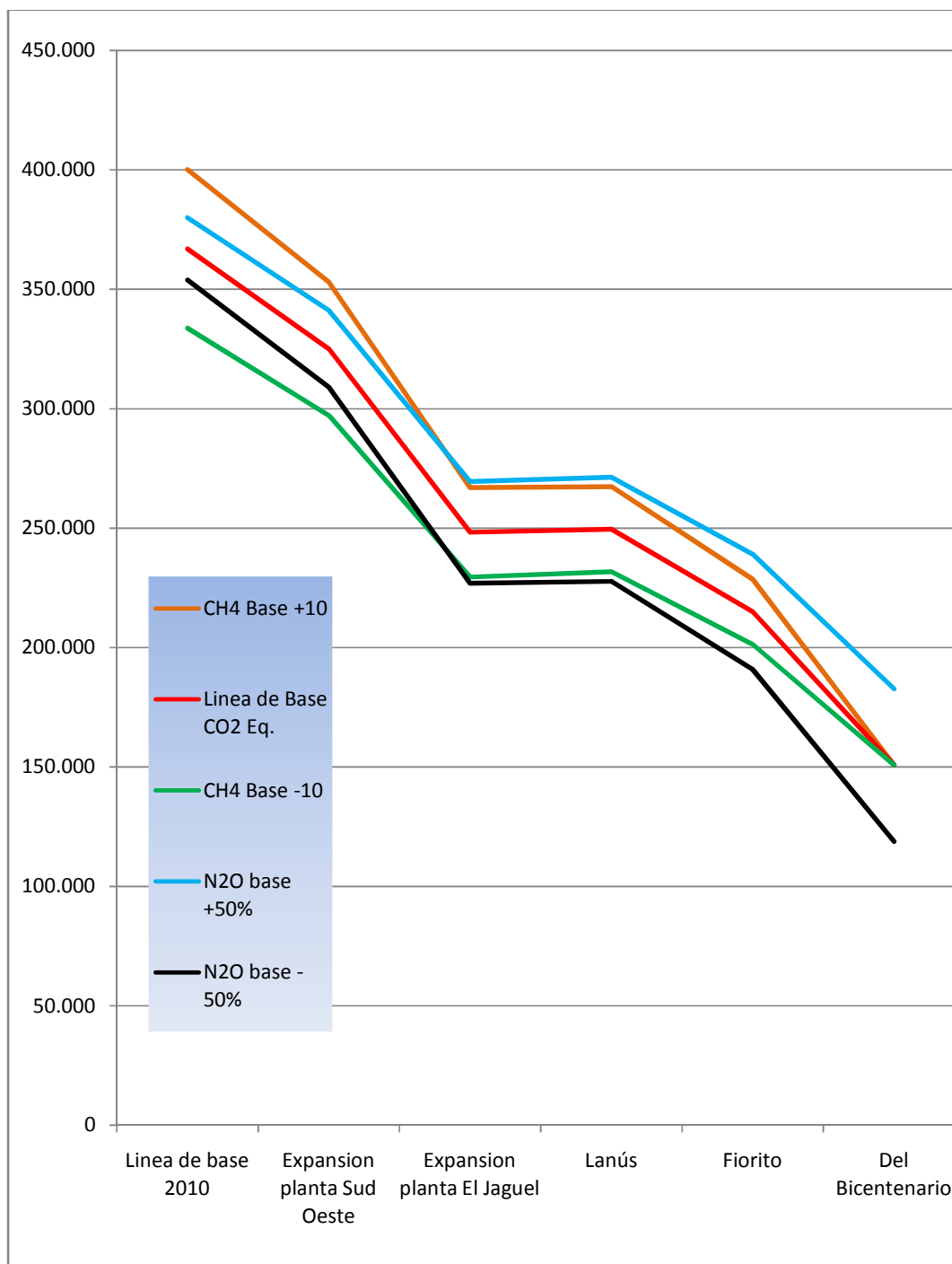
Variables por escenario en CO <sub>2</sub> EQ	Línea de base 2010	Expansión planta Sud Oeste	Expansión planta El Jaguel	Lanús	Fiorito	Del Bicentenario
CH <sub>4</sub> Base +10	400.048	352.892	266.913	267.301	228.611	150.789
Línea de Base	366.884	324.989	248.207	249.516	214.964	150.789
CH <sub>4</sub> Base -10	333.719	297.086	229.502	231.730	201.318	150.789

Dichos resultados se observan en el siguiente gráfico:



<sup>2</sup> Se espera que en la revisión 2016 la incertidumbre del MCF disminuya fuertemente por mediciones efectuadas a nivel internacional.

A fin de comparar estos resultados con los del trabajo principal, se presenta el siguiente gráfico a fin de relacionar los resultados principales con los de la evolución de las emisiones (en Tn CO<sub>2</sub> eq) al reaccionar con un +/- 10 % de variación de metano:





## 8 REFERENCIAS

- 
- <sup>1</sup> Biblioteca de AySA y sitio web de la empresa. Recuperado en Abril 27, 2014, desde [http://www.aysa.com.ar/index.php?id\\_seccion=7](http://www.aysa.com.ar/index.php?id_seccion=7)
- <sup>2</sup> Web site de AySA.. Recuperado en Junio 29, 2012, desde [http://www.aysa.com.ar/index.php?id\\_seccion=559](http://www.aysa.com.ar/index.php?id_seccion=559)
- <sup>3</sup> Napoli, A. (2009). *UNA POLITICA DE ESTADO PARA EL RIACHUELO*. : FARN.
- <sup>4</sup> IPCC. Recuperado en Mayo 9, 2013, desde [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/es/faq-1-3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-1-3.html)
- <sup>5</sup> *IPCC, Ciclo de efecto invernadero. Recuperado en Julio 10, 2013, desde [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/es/faq-1-3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-1-3.html)*
- <sup>6</sup> Norma ISO 14064-1:2006. (2006). : ISO.
- <sup>7</sup> Gases de efecto invernadero y su potencial de calentamiento. Recuperado en Septiembre 9, 2013, desde [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html)
- <sup>8</sup> GHG Protocol: Elaboración propia en base a sitio web de la metodología. Recuperado en Junio 29, 2012, desde <http://www.ghgprotocol.org/about-ghgp>
- <sup>9</sup> Norma ISO 14064: Norma Internacional ISO 14064-1:2006: Gases de Efecto Invernadero. Resumen de conceptos descriptos en la norma.. (2006). : ISO.
- <sup>10</sup> Descripción de metodología Bilan Carbone. Recuperado en Junio 29, 2012, desde <http://www.concept-bio.eu/carbon-assessment-bilan-carbone.php>
- <sup>11</sup> PAS 2050. Recuperado en Junio 29, 2012, desde [http://es.wikipedia.org/wiki/Pas\\_2050](http://es.wikipedia.org/wiki/Pas_2050)
- <sup>12</sup> PAS 2060. Recuperado en Junio 29, 2012, desde <http://www.bsigroup.es/certificacion-y-auditoria/Sistemas-de-gestion/Novedades/Eventos-2012/LD-Eventos-2011/Lanzamiento-de-la-nueva-PAS-20502011-y-norma-PAS-2060--Verificar-y-Neutralizar-la-Huella-de-Carbono/>
- <sup>13</sup> Metodología del IPCC. Recuperado en Junio 29, 2012, desde <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- <sup>14</sup> INDEC, CNPV 2010, y elaboración propia.
- <sup>15</sup> Sitio web de AySA; recuperado en Noviembre 7 2014, desde [http://www.aysa.com.ar/index.php?id\\_seccion=2](http://www.aysa.com.ar/index.php?id_seccion=2)

- 
- <sup>16</sup> AySA, (2011) *EIA 129, Expansión de Subcuenca de Saneamiento Lanús*. AySA.
- <sup>17</sup> Sitio web de AySA; recuperado en Noviembre 11 2014, desde [http://www.aysa.com.ar/index.php?id\\_seccion=564](http://www.aysa.com.ar/index.php?id_seccion=564)
- <sup>18</sup> Los valores de cobertura por planta surgen de los EIA's correspondientes y de datos de la web de AySA. Recuperado en Septiembre 9 2013, desde [http://www.aysa.com.ar/index.php?id\\_seccion=561](http://www.aysa.com.ar/index.php?id_seccion=561)
- <sup>19</sup> Metcalf & Eddy. (2004). *"Wastewater engineering: treatment & reuse"*. Mc grawhill.
- <sup>20</sup> AySA. (2007). *EIA 20, Ampliación de Planta Depuradora El Jagúel*. AySA.
- <sup>21</sup> AySA. (2007). *EIA 21 "Sistema de Tratamiento por Dilución Berazategui"*. AySA.
- <sup>22</sup> AySA. (2011). *EIA 129, Expansión de Subcuenca de Saneamiento Lanús*. AySA.
- <sup>23</sup> AySA. (2011). *EIA 132, Expansión de Subcuenca de Saneamiento Cloacal Fiorito*. AySA.
- <sup>24</sup> AySA. (2007). *EIA 19, Expansión Planta Sudoeste*. AySA.
- <sup>25</sup> FAO. Estadísticas de la FAO. Recuperado en Julio 25, 2013, desde [http://faostat3.fao.org/home/index\\_es.html?locale=es#DOWNLOAD](http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD)
- <sup>26</sup> IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. : IPCC.
- <sup>27</sup> IPCC. (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*. IPCC.
- <sup>28</sup> Doorn, M., Strait, R., Barnard, W., & Eklund, B. (1997). *Estimate of Global Greenhouse Gas Emissions from Industrial and Domestic Wastewater Treatment, Final Report, EPA-600/R-97-091*, : Research Triangle Park, NC, USA..
- <sup>29</sup> IPCC. (2007). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. : IPCC.
- <sup>30</sup> Secretaría de Energía de la Nación. Calculo del Factor de Emisión de la Red Argentina de Energía Eléctrica. Año 2011. Recuperado en Julio 22, 2013, desde <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2311>
- <sup>31</sup> FAO. Estadísticas de la FAO. Recuperado en Julio 25, 2013, desde [http://faostat3.fao.org/home/index\\_es.html?locale=es#DOWNLOAD](http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD)
- <sup>32</sup> SENDECO2. Recuperado en Noviembre 10, 2014, desde <http://www.sendeco2.com/index.asp>