



S I S T E M A S
S U S T E N T A B L E S

ESTUDIO:

“Desarrollo y Aplicación de una Metodología Local de Cálculo de Emisiones Bunker para Gases de Efecto Invernadero”

INFORME FINAL

PARA:

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Santiago de Chile, Diciembre 2009

Sociedad Consultora Sistemas Sustentables Ltda.

Santa Magdalena 75 of.311, Providencia, Santiago

www.sistemas-sustentables.com

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio, denominado “Desarrollo y Aplicación de una Metodología Local de Cálculo de Emisiones Bunker para Gases de Efecto Invernadero”, ha sido desarrollado por Sistemas Sustentables y solicitado por la Comisión Nacional del Medioambiente (CONAMA).

El estudio tiene como principal objetivo robustecer la elaboración de los inventarios de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) para Chile, desarrollando y aplicando una metodología de cálculo que permita desagregar localmente las Emisiones Bunker y las emisiones nacionales de GEI para los subsectores del transporte aéreo y marítimo.

El principal resultado del estudio corresponde a la desagregación de las emisiones de GEI en la participación nacional e internacional para ambos subsectores. Los resultados históricos del período 1984-2007, en base a CO₂e, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Distribución de emisiones Nacional e Internacional para los sectores aéreo y marítimo.

Año	Aéreo		Marítimo	
	Nacional	Internacional	Nacional	Internacional
1984	51%	49%	45%	55%
1985	57%	43%	51%	49%
1986	56%	44%	48%	52%
1987	56%	44%	47%	53%
1988	56%	44%	41%	59%
1989	54%	46%	47%	53%
1990	56%	44%	43%	57%
1991	65%	35%	34%	66%
1992	57%	43%	35%	65%
1993	52%	48%	34%	66%
1994	60%	40%	25%	75%
1995	51%	49%	28%	72%
1996	48%	52%	25%	75%
1997	43%	57%	20%	80%
1998	53%	47%	24%	76%
1999	58%	42%	17%	83%
2000	62%	38%	15%	85%
2001	55%	45%	8%	92%
2002	62%	38%	9%	91%
2003	65%	35%	8%	92%
2004	64%	36%	7%	93%
2005	54%	46%	13%	87%
2006	59%	41%	10%	90%
2007	59%	41%	12%	88%
Promedio	56%	44%	27%	73%

* Tier 1

La metodología utilizada para desagregar las emisiones totales reportadas en el Balance Nacional de Energía (BNE) en emisiones nacionales e internacionales (BUNKER) corresponde a utilizar la información de Aduanas, entidad encargada de devolver el Impuesto al Valor Agregado (I.V.A.), descontando la fracción exenta de impuesto del total BNE, en el caso que el combustible adquirido en el país sea exportado. Cabe destacar que se considera exportación cuando una aeronave o una embarcación dedicada al transporte realiza un viaje al extranjero. Este tipo de aproximación está avalado por la guía de buenas prácticas del IPCC.

Se observa en la Tabla 1 que en el caso del subsector aéreo el consumo nacional corresponde a un 56% en promedio de las emisiones GEI mientras que en el sector marítimo el consumo nacional es de un 27% en promedio para el período 1984-2007. Estos porcentajes corresponden al total nacional reportado en el BNE. Las emisiones totales de CO₂e para ambos subsectores se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Emisiones de GEI Nacionales e Internacionales para los subsectores aéreo y marítimo.

Año	Aéreo [Gg CO ₂ e]		Marítimo [Gg CO ₂ e]	
	Nacional	Internacional	Nacional	Internacional
1984	340	332	419	506
1985	370	275	514	498
1986	357	280	490	532
1987	370	286	478	549
1988	386	298	391	571
1989	432	368	495	548
1990	433	334	447	585
1991	572	311	327	626
1992	585	443	341	637
1993	608	559	402	771
1994	672	446	262	796
1995	658	634	330	854
1996	661	730	300	922
1997	762	992	310	1216
1998	1088	959	411	1301
1999	1113	792	293	1433
2000	1060	661	292	1626
2001	1061	882	160	1750
2002	1201	745	191	2012
2003	1085	579	173	2014
2004	1166	660	183	2375
2005	1065	892	491	3214
2006	1223	860	381	3580
2007	1384	943	539	3829
Promedio	777	594	359	1364

En la Tabla 2 se observan los resultados de la proyección realizada en el presente estudio para ambos subsectores nacional e internacional. El resultado que destaca es la gran diferencia entre las emisiones de GEI nacionales del subsector marítimo.

Por último, se compararon los resultados con el Inventario Nacional de Emisiones de GEI. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Año	Aéreo [Gg CO ₂ e]			Marítimo [Gg CO ₂ e]			Total [Gg CO ₂ e]		
	Inventario GEI	Nacional	%*	Inventario GEI	Nacional	%*	Inventario GEI	Nacional	%*
1984	513	340	66%	499	420	84%	1,012	759	75%
1985	491	370	75%	519	515	99%	1,010	885	88%
1986	620	357	58%	575	491	85%	1,195	848	71%
1987	675	370	55%	582	479	82%	1,257	848	68%
1988	681	386	57%	695	392	56%	1,377	777	56%
1989	740	432	58%	856	496	58%	1,596	928	58%
1990	896	433	48%	1,451	448	31%	2,348	882	38%
1991	882	572	65%	1,786	328	18%	2,668	900	34%
1992	1,028	586	57%	1,787	342	19%	2,815	927	33%
1993	1,166	608	52%	1,980	403	20%	3,146	1,011	32%
1994	1,117	673	60%	2,082	263	13%	3,199	935	29%
1995	1,292	658	51%	2,300	330	14%	3,592	989	28%
1996	1,390	661	48%	2,134	301	14%	3,524	962	27%
1997	1,754	762	43%	2,339	310	13%	4,093	1,072	26%
1998	2,047	1,088	53%	2,679	411	15%	4,726	1,500	32%
1999	1,904	1,113	58%	2,487	293	12%	4,391	1,406	32%
2000	1,723	1,061	62%	3,082	293	9%	4,804	1,353	28%
2001	1,944	1,061	55%	3,066	161	5%	5,010	1,222	24%
2002	1,947	1,201	62%	2,964	192	6%	4,911	1,393	28%
2003	1,662	1,085	65%	3,716	174	5%	5,378	1,258	23%
2004	1,827	1,167	64%	4,494	183	4%	6,321	1,350	21%
2005	2,046	1,066	52%	5,127	492	10%	7,173	1,557	22%
2006	2,088	1,224	59%	5,584	381	7%	7,673	1,604	21%
Promedio	1,323	751	58%	2,295	352	30%	3,618	1,103	39%

*Corresponde al % Nacional sobre el Inventario GEI

Al sumar ambos sectores y obtener los valores nacionales se observa que, en promedio para el periodo 1984 – 2006, se produce una reducción de las emisiones de GEI de un 61% correspondiente a 2515 Gg de CO₂e respecto del Inventario Nacional de GEI.

Este valor de reducción está entre un 15% de reducción a un 25% aproximadamente para el sector transporte durante el periodo.

En conclusión, en el presente estudio se llevaron a cabo con éxito las siguientes actividades:

- Se desarrolló una metodología para desagregar las emisiones de los sectores aéreos y marítimos en nacionales e internacionales.
- Se desarrolló una regresión de los consumos para estimar las emisiones en el período 1984-1990, considerando diferentes variables de actividad.
- Se obtuvieron las emisiones nacionales e internacionales para Gases Efecto Invernadero para los sectores aéreo y marítimo utilizando la aproximación Tier 1, en el caso aéreo se realizó además el cálculo con Tier 2a.
- Se compararon las emisiones obtenidas por este estudio con el Inventario Nacional de Emisiones de GEI.
- Se ingresó la información obtenida en este estudio en la Herramienta_final_Sector_Energía_v7.xls desarrollada junto con el Inventario GEI (incluido en forma digital).
- Se completaron las hojas de trabajo indicadas en las Directrices del IPCC (incluido en forma digital).

Finalmente, considerando la experiencia adquirida en el desarrollo de este estudio, se proponen las siguientes recomendaciones para continuar con este desarrollo metodológico en el futuro:

- **Aduana:** Es de máxima prioridad firmar un acuerdo entre Aduana y la CNE para incluir la información de Aduana en el Balance Nacional de Energía. Específicamente la información relacionada con la exportación de combustibles. Aduana posee una información muy detallada de las empresas que realizan este tipo de actividades.
- **Pesca:** Es importante que el BNE incluya los consumos por pesca, es decir que se pregunte formalmente por los consumos destinados al sector de manera de diferenciarlos del transporte. Las empresas distribuidoras de combustible consideran el Sector pesca como industrial por lo que hacer la diferenciación es factible.
- **LTO:** Para la aplicación de mayores niveles Tier es necesario obtener una mejor información de los LTO para vuelos nacionales. Actualmente la DGAC publica el número total de LTOs del país, este número incluye aviones de todo tipo por lo cual no puede ser utilizado directamente. La DGAC posee información de LTOs por tipo de avión, la que puede ser utilizada para realizar un mejor cálculo de las emisiones de GEI. Se sugiere firmar un acuerdo con la DGAC para obtener el detalle de la información de LTOs anuales por tipo de avión con el objetivo de estimar las emisiones con metodologías de Tier más altos.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	OBJETIVOS.....	3
2	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES.....	4
2.1	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES DE METODOLOGÍAS IPCC	4
2.2	RECOPIACIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN PÚBLICAS	9
2.3	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN ADICIONAL OTRAS FUENTES	11
2.4	INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GEI	17
3	METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES GEI Y CONSTRUCCIÓN DE LA SERIE DE TIEMPO 1984-2007.....	19
3.1	FUENTES DE INFORMACIÓN EMPLEADAS EN EL DESARROLLO METODOLÓGICO.....	20
3.2	METODOLOGÍA PARA REALIZAR LA REGRESIÓN DE DATOS RELEVANTES	27
3.3	METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....	31
4	RESULTADOS Y ANÁLISIS	35
4.1	RESULTADOS DE COMBUSTIBLE NACIONAL E INTERNACIONAL	35
4.2	RESULTADOS DE LA REGRESIÓN DE DATOS	41
4.3	RESULTADOS DE EMISIONES.....	52
5	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	67

ANEXOS

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente documento corresponde al Informe Final con que la Sociedad Consultora Sistemas Sustentables Limitada, en adelante Sistemas Sustentables, da respuesta a la adjudicación del estudio: **“Desarrollo y Aplicación de una Metodología Local de Cálculo de Emisiones Bunker para Gases de Efecto Invernadero”**.

1.1 Antecedentes

Actualmente, las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) han pasado al primer plano de la preocupación mundial, los mercados del carbono en una primera etapa y las iniciativas en la dirección de huella de carbono para todas las actividades del mercado son ejemplos de lo mismo. Esta afirmación, corrobora la necesidad de conocer las emisiones a niveles más finos de lo realizado anteriormente en el país. Este estudio corresponde a un esfuerzo claro en esa dirección, más aun considerando que las emisiones GEI del transporte tenderán a aumentar en el futuro (Figura 1.1).

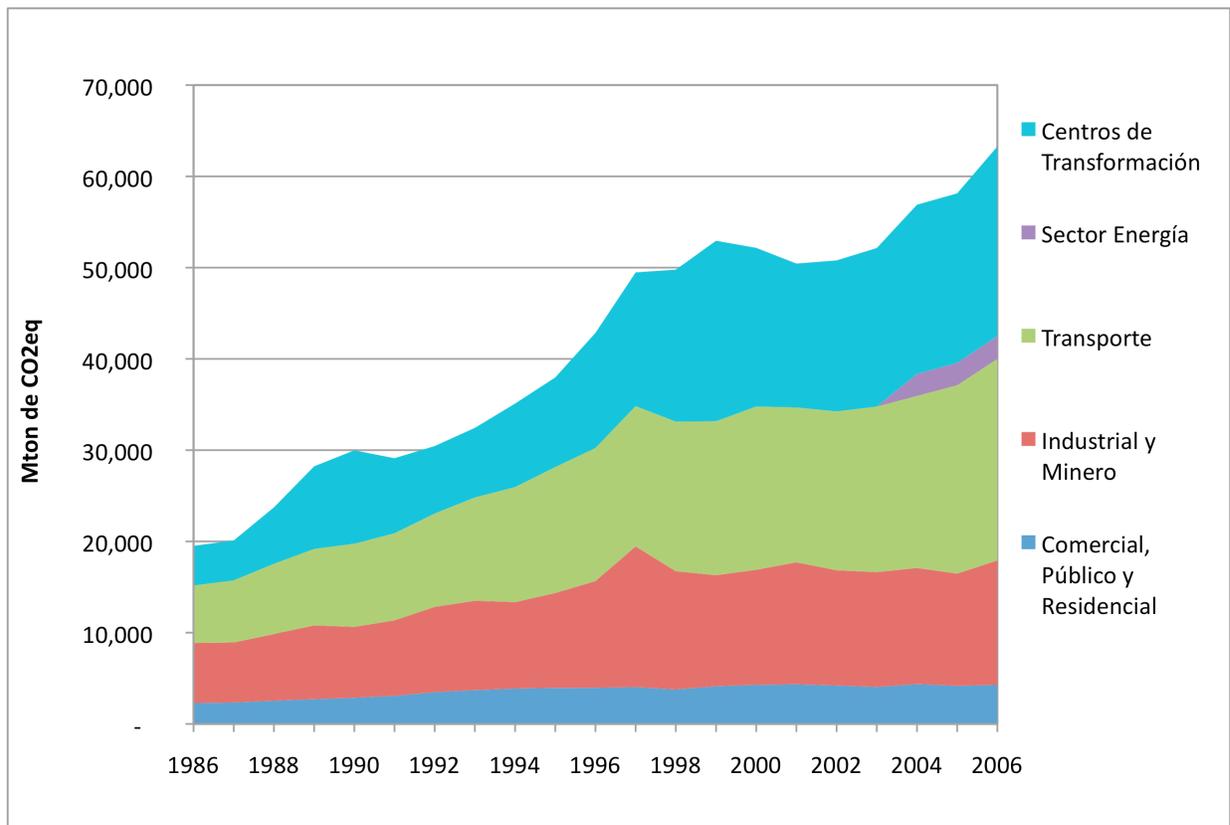


Figura 1.1 Evolución sectorial de emisiones GEI en Chile 1986-2006 (Fuente: PROGEA)

El Gobierno de Chile publicó en Diciembre del año 2008 su Plan de Acción Nacional de Cambio Climático para el período 2008-2012, que contempla como uno de sus 3 ejes principales el de “Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero”. Una de las líneas prioritarias de acción que se desprenden de este eje es el de “Actualización de los inventarios de emisiones”, que en este caso corresponde a los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero nacionales que periódicamente se realizan en el país.

El inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero para los sectores de energía y procesos industriales más actualizado disponible en el país (POCH Ambiental, 2008)¹ contiene una serie de tiempo 1984-2006 para las emisiones del Sector Transporte, el que resulta ser uno de los más relevantes en nuestro país. Este sector a su vez incluye los subsectores de “Transporte Marítimo” y “Transporte Aéreo” que muestran valores relativamente altos y crecientes de emisiones de gases de efecto invernadero en los últimos años, como se mencionó anteriormente.

Sin embargo, la metodología utilizada en la preparación de dicho inventario no incluye una desagregación entre las emisiones de esos subsectores que se encuentran asociadas a las emisiones internas del país y a las “Emisiones Bunker”².

La desagregación de estas emisiones entre nacionales e internacionales no es trivial. La experiencia internacional muestra que los países utilizan distintas metodologías para realizar este análisis, porque se requiere recopilar información específica para cada país, la que no está siempre disponible.

En el caso de Chile, la información disponible en el Balance Nacional de Energía no permite categorizar en forma directa las emisiones marítimas y aéreas como nacional o internacional, y el inventario nacional de emisiones de GEI para el sector energía, ejecutado por POCH Ambiental en 2008 agregó en un único ítem tanto las emisiones aéreas y marítimas nacionales como las internacionales, al no tener un método apropiado para subdividir las.

Considerando que se requiere que en los inventarios de los países que se presenten a la Secretaría de la Convención Marco sobre Cambio Climático, las emisiones bunker se presenten desagregadas de las emisiones nacionales para que no se incluyan en la contabilización de emisiones a nivel nacional, es necesario desarrollar una metodología que localmente permita realizar esta desagregación, tanto en el inventario a presentarse en el país en su Segunda Comunicación Nacional, como para que esté operativa en las próximas actualizaciones del inventario.

¹ El Estudio se titula “Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero”, y comprende a los Sectores: Energía, Procesos Industriales y Uso de Solventes, siguiendo la clasificación de sectores que utiliza el IPCC.

² Según Naciones Unidas “Emisiones Bunker” o “Bunkers Internacionales” son términos usados para referirse a emisiones de GEI asociadas al consumo de combustibles para transporte marítimo y aéreo internacional. Son por tanto diferentes del combustible que se usa con fines de transporte dentro de cada país.

1.2 Objetivos

Objetivo General

Robustecer la elaboración de los inventarios de emisiones de GEI para Chile, desarrollando y aplicando una metodología de cálculo que permita desagregar localmente las Emisiones Bunker y las emisiones nacionales de GEI para los subsectores del transporte aéreo y marítimo.

Objetivos Específicos

- a) Desarrollar una metodología local de cálculo de emisiones de GEI para Chile, que permita recopilar la información necesaria para estimar anualmente en forma desagregada las emisiones nacionales y las emisiones bunker para los subsectores del transporte aéreo y marítimo.
- b) Aplicar esta metodología para construir una serie de tiempo de emisiones bunker y emisiones locales de GEI para los subsectores del transporte aéreo y marítimo en el período 1984-2007.

El presente estudio tiene por objetivo definir los aspectos metodológicos necesarios para desagregar las emisiones GEI de las actividades nacional e internacional generadas por el sector marítimo y aéreo, además de construir la serie de tiempo de dichas emisiones para el período 1984-2007.

2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

El desarrollo del estudio requiere que se aborden cuatro áreas de recopilación de antecedentes, las cuales se desarrollan en este capítulo. La primera de ellas corresponde al análisis de las metodologías del IPCC utilizadas en los sectores aéreo y marítimo, la segunda corresponde a la recopilación de fuentes de información públicas con el objetivo de obtener los datos necesarios para realizar el cálculo de emisiones, la tercera corresponde a obtener información adicional por otras fuentes que resulten útiles para el estudio y por último se presentan los resultados del Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero que incluyen a los dos sectores analizados.

A continuación se describen cada una de las áreas de análisis, divididas en 4 secciones.

2.1 Recopilación de Antecedentes de Metodologías IPCC

Esta sección involucra la revisión de los documentos del IPCC que establecen las directrices para determinar las emisiones GEI en el sector transporte aéreo y marítimo. El objetivo de esta revisión es identificar el tipo de información necesaria para confeccionar los inventarios de GEI para el sector marítimo y aéreo, así como también identificar las metodologías asociadas y los grados de información requeridos para los distintos niveles de cálculo de emisiones.

Los documentos considerados para esta revisión son:

- 1) *Orientación del IPCC sobre las Buenas Prácticas y la Gestión de la Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.*
- 2) *2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory, Chapter 3: Mobile Combustion.*
- 3) *Revised IPCC 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory.*

En estos documentos se encuentran varios niveles metodológicos que pueden ser aplicados según la información disponible: *Tier 1, Tier 2 y Tier 3 (para el caso aéreo)*, donde el número mayor indica a su vez un mayor grado de detalle de la información, y en consecuencia del cálculo de las emisiones.

A continuación se describen los niveles metodológicos planteados por el IPCC para los sectores aéreo y marítimo.

2.1.1 Sector Aéreo

Las emisiones de la aviación son producidas por la combustión de Kerosene de aviación y gasolina de aviación³. Las emisiones de aeronaves se componen aproximadamente de 70% de CO₂, un poco menos del 30% H₂O, y menos del 1% cada uno de NO_x, CO, SO_x, NMVOC, partículas y otros compuestos contaminantes. Las emisiones de N₂O son mínimas en las turbinas modernas (IPCC, 1999). Las turbinas a gas pueden emitir Metano (CH₄) durante el ralenti y por motores antiguos, pero estudios recientes sugieren que las emisiones de CH₄ son mínimas (2006 IPCC Guidelines).

Las emisiones del sector aéreo deben ser separadas según actividad nacional e internacional, según lo indica la Tabla 2.1. Dentro de la actividad nacional, se debe separar la actividad militar de la civil, definiendo esta última como “otras fuentes”. Dado el carácter confidencial que tiene la actividad militar, se debe informar si ésta se incluirá o no en el inventario de emisiones generado para el sector aéreo de la región estudiada.

Tabla 2.1 Criterios para distinguir el transporte aéreo nacional del internacional⁴.

Tipo de travesía	Nacional	Internacional
Comienza y termina en el mismo país	si	no
Sale de un país y llega a otro	no	si
Sale de un país, hace una escala "técnica" en el mismo país sin desembarcar ni embarcar pasajeros o carga, luego vuelve a partir y llega a otro país	no	si
Sale de un país, hace escala en el mismo país y desembarca o embarca pasajeros o carga, luego parte y finalmente llega a otro país	etapa nacional	etapa internacional
Sale de un país, hace escala en el mismo país sólo para embarcar más pasajeros o carga, luego parte y finalmente llega a otro país	no	si
Sale de un país con destino a otro país y hace una escala intermedia en el país de destino, sin embarcar pasajeros o carga	no	ambos segmentos internacionales

De los tres enfoques metodológicos que presenta el IPCC, Tier 1 y Tier 2 se basan en la información de consumo de combustible. En el caso de Tier 1 se basa solamente en el consumo de combustible y según las directrices del IPCC, debiese ser utilizado para estimar las emisiones producidas por el consumo de gasolina de aviación, asociada generalmente a los aviones pequeños y que

³ Es un combustible utilizado en pequeños motores a pistón de avión, y generalmente representa menos del 1% del combustible de aviación (Fuente: IPCC Guidelines 2006)

⁴ Fuente: Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de efecto invernadero.

normalmente representan menos del 1% del consumo total del sector aéreo. La ecuación 3.1 representa el cálculo de este método.

$$E = CC * FE \quad \text{ec. 2.1}$$

donde,

E : Emisiones
 CC : Consumo de combustible
 FE : Factor de emisión

Para el caso de Tier 2, el método se basa en el número de ciclos “despegues/aterrizajes” o LTO (por sus siglas en inglés) en conjunto con el consumo de combustible. El consumo nacional de combustible debe ser desagregado para la etapa LTO y para la etapa crucero ya que se deben diferenciar los factores de emisión para condiciones de vuelo bajo y sobre los 3000 pies. Los despegues y aterrizajes LTO, se estiman con información estadística de los ciclos LTO, que pueden ser agregados por un avión tipo (2a) o desglosados por clase de avión (2b). Si se calculan las emisiones en forma agregada, se debe escoger un avión “tipo” que sea representativo de toda la flota nacional⁵. Las emisiones en la etapa crucero dependen, entre otras, de la duración del vuelo. Las ecuaciones para los cálculos del método Tier 2 son:

$$E = E_{LTO} + E_c \quad \text{ec. 2.2}$$

donde,

E : Emisiones
 E_{LTO} : Emisiones de la etapa LTO
 E_c : Emisiones de la etapa Crucero

$$E_{LTO} = N_{LTO} * FE_{LTO} \quad \text{ec. 2.3}$$

donde,

E_{LTO} : Emisiones para la etapa LTO
 N_{LTO} : Número de ciclos de LTO
 FE_{LTO} : Factor de emisión etapa LTO

$$CC_{LTO} = N_{LTO} * Ciclo_{LTO} \quad \text{ec. 2.4}$$

donde,

CC_{LTO} : Consumo de combustible para la etapa LTO
 N_{LTO} : Número de ciclos de LTO
 $Ciclo_{LTO}$: Consumo de combustible por ciclo LTO

⁵ Los documentos citados poseen listados de distintos aviones y cómo estos pueden ser agrupados en un avión tipo o representativo.

$$E_C = (CC_T - CC_{LTO}) * FE_C$$

ec. 2.5

donde,

- E_C : Emisiones para la etapa crucero
- CC_T : Consumo de combustible total
- CC_{LTO} : Consumo de combustible para la etapa LTO
- FE_C : Factor de emisión etapa crucero

En relación al método más detallado Tier 3, éste se basa en la información de cada vuelo nacional realizado en la región de estudio, ya sea con los datos de origen-destino o aún más completo, con toda la información de la trayectoria de los vuelos nacionales. El nivel de información para realizar los cálculos incluyen además factores de consumo y de aerodinámica de cada avión que realice los vuelos, por lo que requiere además de sofisticadas herramientas computacionales para poder incorporar todas estas variables y parámetros de cada vuelo.

2.1.2 Sector Marítimo

El sector marítimo incluye todas las categorías de transporte marítimo, excepto pesca considerada como industria. Las categorías van desde embarcaciones recreacionales hasta los buques de transporte transoceánico. Principalmente funcionan en base a motores diésel, pequeños, medianos y grandes, y ocasionalmente por vapor y turbinas a gas. Se incluyen en esta categoría las embarcaciones tipo hovercraft.

El modo marítimo, posee consideraciones similares al modo aéreo respecto de separar la navegación nacional de la internacional, señalado en la Tabla 2.2. Además, es una buena práctica separar las emisiones en actividades civiles nacionales, actividades militares nacionales y pesca. Esta última no es considerada como una actividad de transporte sino más bien de industria, por lo que habría que descontar su consumo asociado.

Nuevamente, el consumo de combustible asociado a las operaciones militares puede ser de carácter confidencial, por lo que se debe informar si ésta se incluirá o no en el inventario de emisiones generado para el sector marítimo de la región estudiada.

Tabla 2.2 Criterios para distinguir el transporte marítimo nacional del internacional⁶.

Tipo de travesía	Nacional	Internacional
Comienza y termina en el mismo país	si	no
Parte de un país y llega a otro	no	si
Zarpa de un país, hace una escala "técnica" en el mismo país sin desembarcar ni embarcar pasajeros o carga, luego vuelve a partir y llega a otro país	no	si
Zarpa de un país, hace escala en el mismo país y desembarca o embarca pasajeros o carga, luego parte y finalmente llega a otro país	segmento nacional	segmento internacional
Parte de un país, hace escala en el mismo país sólo para embarcar más pasajeros o carga, luego parte y finalmente llega a otro país	no	si
Zarpa de un país con destino a otro país y hace una escala intermedia en el país de destino, sin embarcar pasajeros o carga	no	ambos segmentos internacionales

Las directrices del IPCC proponen dos niveles metodológicos para estimar las emisiones de GEI, donde se considera una buena práctica, utilizar el método Tier 1 para la estimación de CO₂, ya que relaciona el factor de emisión para el consumo de cada tipo de combustible. La metodología Tier 1 parte del consumo de combustible y puede aplicar los factores de emisión locales o por defecto, separados según tipo de combustible, como lo indica la siguiente ecuación:

$$E_i = \sum_j CC_j * FE_{ij}$$

ec. 2.6

donde,

E_i = emisiones del contaminante i [kg]

CC_j = combustible consumido de tipo j (representado por el combustible vendido)

FE_{ij} = factor de emisiones para combustible de tipo j para el contaminante i

Para estimar las emisiones de N₂O y CH₄, es una buena práctica el método de Tier 2, el cual está basado en estudios realizados en USA y Europa que determinan los factores de emisión según la modalidad de transporte, tipo de combustible⁷ y el tipo de motor⁸. El método de nivel 2 del IPCC requiere factores de emisión locales que se especifiquen según el tipo de combustible y el tipo de embarcación. El cálculo tiene la misma forma que la ecuación 2.6, sólo que además desagrega por tipo de embarcación principal.

⁶ Fuente: Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de efecto invernadero.

⁷ Tabla 8-1 documento EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, página B810-23.

⁸ Tablas 8.1, 8.2, 8.3 documento EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, página B842-15, B842-16.

2.2 Recopilación de Fuentes de Información Públicas

En esta actividad se identifican y evalúan las fuentes chilenas de información relevantes que podrían ser utilizadas para aplicar los métodos IPCC de nivel 1, 2 (y eventualmente 3, en el caso aéreo), al análisis de los subsectores de transporte marítimo y aéreo tanto en sus emisiones nacionales como en las emisiones Bunker. Para esta búsqueda de información, se priorizó aquella que sea de carácter público, periódico y que tenga continuidad.

A continuación se mencionan las fuentes de información existentes y relevantes para realizar el estudio.

2.2.1 Consumos de Combustible

Actualmente se encuentran disponibles dos reportes o estadísticas que entregan datos de consumo de combustibles líquidos, los cuales son de carácter público y de periodicidad anual, que se describen a continuación:

Informe Estadístico realizado por la *Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)*, que reporta las ventas de combustibles líquidos por región y separado por tipo de combustibles, donde se pueden reconocer los combustibles asociados a la actividad aérea (kerosene de aviación y gasolina de aviación) y los combustibles utilizados por la actividad marítima (petróleo IFO180 y petróleos diesel principalmente).

La información de este reporte se separa por canales de distribución y no por el sector que lo consume, por lo que no es directo asociar los volúmenes de combustibles al transporte aéreo o marítimo, y tampoco desagregarlos en consumos nacional o internacional. Sin embargo, el canal de distribución “Ventas por Ranchos” por definición corresponde a las ventas al sector aéreo y marítimo, pero existen otros dos canales “Ventas directas de ENAP” y “Ventas a Usuarios” que tienen volúmenes considerablemente altos y que sin información adicional por parte de la SEC, no es posible determinar cuánto es efectivamente consumido por dichos sectores.

Los Informes Estadísticos se pueden obtener a través del sitio web de la SEC, donde se pueden conseguir los reportes desde el año 2006 al 2008, por lo que se debiese hacer gestiones adicionales para conseguir los años anteriores.

Balance Nacional de Energía desarrollado por la *Comisión Nacional de Estadística (CNE)*, que corresponde a un balance a nivel nacional del consumo energético agrupado por sector, donde existe una desagregación para el sector transporte que incluye a su vez el detalle de los consumos asociados a la actividad aérea y marítima. Sin embargo, esta información no tiene el detalle asociado al consumo de la actividad nacional o internacional, por lo que no es posible hacer uso directo de estos valores. A través de su sitio web se pueden conseguir los balances para los años 1991 al 2007.

2.2.2 Fuentes para el Sector Aéreo

Para desagregar la actividad nacional e internacional del sector aéreo, existen las estadísticas que reporta la *Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile (DGAC)* sobre la operación de aeronaves (despegues/aterrizajes o LTO por aeropuertos), la cual es de periodicidad anual y que está disponible en su sitio web desde el año 2005 al 2008. Según la misma fuente existiría información para años anteriores en otro tipo de formato el cual fue solicitado por el equipo consultor.

En complemento a esta información, la *Junta Aeronáutica Civil (JAC)* también lleva estadísticas de las operaciones aéreas como tonelaje transportado, pasajeros transportados, horas de vuelo, kilómetros recorridos, tanto para actividades nacionales como internacionales, las cuales se pueden obtener directamente de su sitio web hasta el año 1999. Sin embargo, el consumo de combustible en el sector aéreo está mayormente vinculado con la operación, es decir a los LTO y a las horas o km, más que con el movimiento de carga o pasajeros, pues es común que existan ocasiones en se realicen vuelos con poca carga o pasajeros a bordo, pero el itinerario se debe cumplir igualmente, y por lo tanto la carga de combustible principal se realiza, y las variaciones en el volumen serán menores si es que el avión va más lleno o no.

2.2.3 Fuentes para el Sector Marítimo

Para desagregar la actividad nacional de la internacional del sector marítimo, existen las estadísticas que recopila la *Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR)*, que anualmente publican el Boletín Estadístico Marítimo, disponible en su sitio web desde el año 1991 al 2008. Por medio de este boletín es posible conocer, entre otras, las siguientes estadísticas:

- Tonelaje Movilizado por Puertos Chilenos
- Número de Naves Nacionales y Extranjeras recaladas por puertos
- Naves Atendidas Mensualmente por el Servicio de Pilotaje en Canales Australes
- Número de balseos, vehículos y pasajeros transportados en las zona Sur-Austral
- Tráfico marítimo en el Estrecho de Magallanes-Beagle y Cabo de Hornos
- Naves Pesqueras mayores de 50 TRG y distribución por TRG y puerto de operación
- Tonelaje desembarcado de productos del mar por puerto y según especie
- Nómina de Industrias Pesqueras en Operación por puerto según tipo de elaboración

Estas variables se consideran útiles para caracterizar la actividad nacional e internacional para el transporte marítimo, las cuales serán evaluadas para definir su posterior uso en el desarrollo metodológico.

2.3 Recopilación de Información Adicional Otras Fuentes

Dado que la metodología local a desarrollar depende en gran medida de la información disponible, se definieron fuentes de información adicional para evaluar la posibilidad de adquirir estadísticas que permitan aplicar los métodos de nivel 1, 2 (y eventualmente 3) del IPCC.

Las fuentes de información adicionales que se consideraron relevantes de contactar se mencionan a continuación:

2.3.1 Comisión Nacional de Energía CNE

Se entrevistó al encargado de generar los Balances Nacionales de Energía de la CNE para conocer la metodología con la que desagregan los consumos de combustible para el sector transporte.

Para generar las el BNE en el transporte, se entrega un formulario a las principales compañías distribuidoras de combustibles líquidos (Copec, Shell, Esso, YPF/Terpel, ENAP). Dicho formulario posee campos para ser completados que se relacionan a distintos sectores del transporte. En particular, el consumo del sector marítimo se forma a partir del llenado de los campos Rancho, Pesca y Marítimo. Para el sector aéreo, los campos que lo conforman son Aéreo Nacional e Internacional.

A pesar de que para ambos sectores se pregunta en forma separada el consumo internacional del nacional, las compañías distribuidoras de combustibles consultadas no completan estos campos, probablemente porque no tienen cómo saber el destino que se da en cada venta. Sin embargo, para el período 2004-2008 del consumo marítimo que reporta el BNE, se obtuvo el valor para la pesca separado del resto del combustible marítimo. Estas cifras fueron proporcionadas por los encargados del BNE como información de apoyo para este estudio, pues no está publicada. Cabe señalar también, que el BNE reporta dentro de los consumos de las Industrias un ítem para la Pesca, el cual se genera a partir de la encuesta directa a las principales pesqueras nacionales. Los volúmenes que aquí se generen no son incluidos al total de consumo reportado para transporte marítimo, por lo que lo que se debe descontar como Pesca es lo que efectivamente reporten las compañías distribuidoras que sirven de fuente para generar las estadísticas en el transporte (información que fue proporcionada para el período 2004-2008).

2.3.2 Superintendencia de Electricidad y Combustibles SEC

Se realizó una entrevista en la Unidad Técnica de Combustibles Líquidos de la SEC, para saber más detalles respecto a la forma de generar los Informes Estadísticos anuales.

Al igual que el BNE, para generar el Informe Estadístico se entrega un formulario a las mismas compañías que en el caso del BNE más otras más pequeñas presentes en el mercado. Respecto de

la asignación que se pudiese hacer al transporte aéreo y marítimo según los canales de ventas, se hicieron las siguientes consultas:

- Para “Ranchos”, asociar todo el volumen de los combustibles de este canal sector aéreo y marítimo según corresponda.
R: *Se está de acuerdo con esta asignación. Sin embargo, se comenta que este volumen no hace separación entre consumo nacional e internacional.*
- Respecto de los altos volúmenes de kerosene de aviación y petróleo IFO 180, consumidos principalmente por el sector aéreo y marítimo, respectivamente, que presentan los canales de ventas “Directas de ENAP” y “Usuarios”: ¿Es correcto asignar todo el volumen de estos combustibles a los sectores del transporte respectivo?
R: *No es correcto, pues existen industrias que utilizan tanto kerosene de aviación como petróleo IFO180 como combustible en sus operaciones (por distintas razones). Sin embargo, se concuerda que estos dos canales de distribución debiesen estar también incluidas ventas que efectivamente tiene destino al transporte aéreo o marítimo. Este hecho no se había analizado previamente pues no se había requerido (hasta la fecha) que la información fuese más clara en este sentido, y surge la necesidad de aclarar la estructura del formulario del pues todas las ventas para el sector aéreo y marítimo debiesen ser completados en el ítem “Ranchos”, sin embargo existe cierta confusión por parte de las mismas compañías que completan el BNE en definir bien sus ventas.*
- Se preguntó respecto a si existe información que indique las ventas para rancho nacional e internacional.
R: *Las ventas de “Ranchos” poseen estadísticas de ventas nacional e internacional. Sin embargo, aclaran que estas no están completas pues falta incluir los volúmenes que pudiesen estar tanto en “Directas de ENAP” como en “Usuarios”. Como referencia, se acordó la entrega de esta información a través de una solicitud formal a la Superintendencia.*

2.3.3 Dirección General de Aeronáutica Civil DGAC

Se realizó una entrevista con la Dirección General de aeronáutica Civil DGAC, con el objetivo de conocer más sobre la práctica nacional del sector aéreo en el país. La información relevante obtenida se lista a continuación:

- ¿La DGAC maneja estadísticas de cuánto combustible es para vuelos nacionales e internacional?
R: *La DGAC se preocupa de que el abastecimiento de combustible a los aviones sea seguro, pero no tiene control de cuánto volumen es transportado a una nave determinada (de itinerario nacional o internacional). Además, controla los mínimos remanentes (en tiempo de vuelo) al fin de un vuelo. Esto es la exigencia de cargar más combustible que el necesario para un viaje determinado en caso de que exista alguna emergencia que no permita aterrizar y que lo obligue a estar cierto tiempo sobrevolando, hasta que tenga la orden de poder aterrizar.*

- ¿Se tiene noción de cómo se comercializa el combustible en los aeropuertos? Esto con el fin de identificar consumo nacional e internacional.

R: *En el aeropuerto internacional de la RM existe un compañía⁹ que acopia el combustible de las distintas marcas (Shell, Copec por ejemplo) y es ésta la que envía el combustible hasta las bahías de carga de combustible (pit) en la zona de estacionamiento de las aeronaves, en donde cada compañía proveedora de combustible realiza el carguío correspondiente. Se tiene certeza en que el modo de facturar el combustible por dicha compañía es con asignación a la compañía o aerolínea identificando la aeronave (que eventualmente permitiría identificar si su operación es nacional o internacional). A partir de esto se está evaluando si fuese posible consultar por las estadísticas de dicha compañía y la disponibilidad de información por parte de la DGAC para hacer un cruce de datos y separar el consumo de combustible nacional del internacional, pues la RM es la que tiene la mayor actividad nacional, por lo que se podría hacer una desagregación representativa a nivel nacional si se conoce en detalle a la RM.*

- Se preguntó respecto a la disponibilidad de estadísticas de combustibles que pudieran tener las principales aerolíneas que realizan vuelos nacionales (Lan Express, Sky y Aerolíneas Principal), con el objetivo de evaluar preguntarles directamente los consumos por vuelos domésticos.

R: *Efectivamente llevan un control muy detallado ya que es el ítem más importante en los costos de operación (alrededor del 40 %), pero es siempre difícil obtener este tipo de información por ser de carácter estratégico.*

- Respecto a la diferenciación de los Factores de Emisión por tipo de aeronave, se preguntó sobre la existencia de estadísticas que identifiquen los LTO nacionales por tipo de aeronave

R: *Existe esta información, la cual debe ser solicitada formalmente a través del sistema OIRS de la DGAC, donde se evalúa la consulta para luego entregar la información.*

A partir de esta respuesta, ya se realizó la solicitud para solicitar la información resumida en la (Tabla 2.3) para la flota operando comúnmente en vuelos. Esto permitiría emplear los Factores de Emisión según sea la aeronave. Nuevamente, si esta información se consigue no sería pública y debiese ser pedida directamente cada vez que se necesite.

Tabla 2.3 Formato de Información: Cantidad de Aeronaves operando en vuelos nacionales

Tipo de Aeronave	Cantidad	Año

La información que se envió como respuesta a la consulta fue sólo para los años 2004-2008, pues se encontraban en proceso de reordenamiento del sistema y por lo tanto no había más información disponible.

Luego de analizar esta información se observaron ciertas inconsistencias en los totales de LTO que existen en las estadísticas publicadas en el sitio web y los totales de LTO por avión, agregados por año, siendo estos últimos del orden de un 50% menores. Se hizo consulta respecto a estas diferencias y no se tuvo respuesta para poder incorporar la información al estudio que permitiera un nivel Tier 2b. Sin embargo, se puede ver la proporción que ocupa la flota de aviones domésticos dentro del total, lo que permite identificar el avión tipo para aplicar Tier 2a.

- Finalmente, se consultó respecto a los roles que tiene la DGAC y la JAC (Junta Aeronáutica Civil)

R: *La DGAC vela por la seguridad de las operaciones aéreas en el espacio aéreo nacional (es un organismo técnico) y la JAC entrega los permisos de vuelo y las frecuencias de ellos dentro del territorio nacional (es un organismo jurídico). En este sentido, la fuente de información más adecuada para seguir consultando es la DGAC.*

2.3.4 Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante DIRECTEMAR

Se realizó una entrevista con la Dirección General del Territorio y Marina Mercante Directemar, con el objetivo de conocer más sobre la práctica nacional del sector marítimo en el país y de la información que reportan en su Boletín Estadístico Marítimo (BEM). La información relevante obtenida se lista a continuación:

- ¿La actividad nacional del transporte marítimo se puede obtener de las estadísticas de cabotaje que aparecen en el BEM?

R: *Se confirma que el ítem cabotaje que reportan en el BEM corresponde al movimiento nacional para este sector, es decir movimiento de carga y pasajeros entre puertos chilenos.*

- ¿Se tiene noción de cómo se comercializa el combustible en el transporte marítimo? Esto con el fin de identificar el consumo nacional e internacional.

R: *La práctica en el transporte de carga, ya sea por importaciones o exportaciones, es que usualmente las embarcaciones del extranjero cargan combustible en países donde es más barato. En general en altamar operan con alquitrán y en las cercanías de puertos con petróleos combustibles o petróleos diesel. Adicionalmente se mencionó que Aduana puede tener algún registro de la venta de combustible, ya que este se comercializa fuera del rango territorial donde se aplican impuestos. También se puede consultar a Dirección General de Servicios de la Armada, por ser los que controlan el movimiento de combustible en los puertos*

2.3.5 Dirección General de Servicios de la Armada

Se realizó el contacto con esta institución para saber detalles en el control del movimiento de combustible en los puertos, según lo conversado con Directemar. La respuesta fue que ellos

realizan, entre otras labores, el rol de fiscalizar todas las operaciones en los puertos. Sin embargo, en relación al control del movimiento de combustibles, se dijo que ellos velan por la seguridad en la carga según normas establecidas, pero que no tienen control del volumen que pueda ser cargado para las actividades de cabotaje, pesca o comercio exterior.

2.3.6 Servicio de Impuestos Internos SII

El Servicio de Impuestos Internos es un empresa del estado que vela por el cumplimiento de las leyes tributarias y fiscaliza a los contribuyentes en todo lo relativo a sus negocios, es por eso que se consideró contactarlos para evaluar la posibilidad de conseguir información por la facturación de combustible a las empresas con giro de transporte aéreo y marítimo, de manera de contabilizar el consumo nacional.

Como antecedente, se sabe que anterior al sistema de facturación electrónica, las empresas debían completar un formulario donde el grado de detalle era número de facturas emitidas y el equivalente en plata facturada, por lo que no es posible identificar ni la empresa a la que facturó ni el producto que fue vendido. Ahora con el nuevo sistema de facturación electrónica (2002) es posible conocer la empresa pero aún no es posible identificar lo que se vendió.

De lo anterior, se estima que preguntar por las ventas de una compañía distribuidora no permitiría distinguir el tipo de combustible o el destino (compañía aérea o marítima), para separar el consumo nacional de los sectores del transporte de interés. Sin embargo, se envió una carta de solicitud de información a través de CONAMA, en caso de que SII maneje más información que lo que se conoce que deben tributar las empresas pero desafortunadamente no hubo respuesta por parte de ellos.

2.3.7 Servicio Nacional de Aduanas de Chile

Las compañías de que realizan viajes internacionales, tanto para el sector marítimo como para el aéreo, y que compran combustible en Chile, debiesen pagar el valor sin impuesto o IVA. La práctica común en este sentido es la siguiente:

- Las compañías compran el combustible con IVA incluido
- Posteriormente, estas mismas compañías deben descontar el IVA (les devuelven el dinero que corresponde al volumen comprado)
- Esta devolución de impuestos se hace declarando las compras en un formulario especial, donde especifican el volumen de combustible comprado, el tipo y el monto en dinero y donde además, se adjuntan las facturas entregadas por las compañías distribuidoras de combustibles (Copec por ejemplo).
- Todo este trámite se hace a Aduanas y así se produce finalmente la devolución del dinero a las compañías.

Con estos antecedentes, y asumiendo que las empresas recuperan este dinero por concepto de uso de combustible para actividad internacional, se envió una carta de solicitud de esta

información a través de CONAMA, de modo de tener el volumen consumido por el sector aéreo y marítimo internacional y así descontarlo del total reportado en el BNE.

La respuesta a esta solicitud fue exitosa, y el Servicio Nacional de Aduanas envió una base datos para el período 1991-2007, donde sale el combustible declarado por las distintas compañías del sector marítimo y aéreo, por lo que se dispone de la información para descontar el combustible internacional del global que reporta el BNE.

2.3.8 COPEC

Dado que esta compañía es una de las más importantes distribuidoras de combustibles en Chile, se consideró relevante entrevistarse con ellos para saber si poseen información útil que permitiera separar el consumo nacional del internacional en el transporte aéreo y marítimo.

En un primer contacto, se consultó sobre el sistema de facturación que tienen, para ver si diferencian entre barcos y aviones nacionales o extranjeros, respondiendo que en la práctica esto no se realiza. En el caso particular de los barcos que compran combustible en rancho, son operados por una empresa de armadores nacionales, la que a su vez podría tener contratos con naves extranjeras.

Posteriormente, y previo a haber analizado la información obtenida desde el Servicio Nacional de Aduanas, se identificó que la compañía ADES Ltda tenía aproximadamente el 50% del consumo internacional. Como ADES Ltda es una concesionaria de COPEC, división Marítimo, se estableció un contacto en donde ellos informaron que uno de los servicios de esta compañía es abastecer a la flota de marina mercante en alta mar, es decir, grandes embarcaciones provistas de toda la infraestructura necesaria proveen de combustibles para uso marítimo en altamar a los barcos que transitan por esas costas (el equivalente a estaciones de servicios). Además, agregaron que el abastecimiento es a embarcaciones de transporte o marina mercante y no a barcos pesqueros (<http://www.copecmarinefuels.com/>).

Toda esta información es útil para el correcto manejo de la información de Aduanas, al ser esta compañía la principal consumidora de combustible marítimo internacional.

2.3.9 Lan

La empresa aérea Lan es la principal compañía que realiza vuelos domésticos en todo el país a través de LanExpress, por lo que se consideró relevante gestionar una entrevista con la Gerencia de Gestión de Materiales, encargados de la compra de insumos y combustibles para la operación. Sin embargo, el proceso ha sido lento pues existe mucha burocracia para solamente conseguir hablar con un encargado que pudiese asesorarnos y eventualmente, proporcionarnos información. Por lo que esta línea de búsqueda de información se terminó dado el plazo de estudio.

2.4 Inventario Nacional de Emisiones de GEI

El objetivo del presente estudio corresponde a generar una metodología que pueda desagregar las emisiones de GEI para los sectores aéreo y marítimo. La información base para realizar lo anterior corresponde al Inventario Nacional de Emisiones de GEI desarrollado por Poch Ambiental en colaboración con Deuman Ingenieros solicitado por la Comisión Nacional del Medioambiente (CONAMA) y el Programa para el Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD).

El Inventario Nacional de Emisiones de GEI no incluye información desagregada según sea actividad nacional o internacional.

En la **Tabla 2.4** y en la **Figura 2.1** se muestran las emisiones declaradas para los sectores aéreo y marítimo en el inventario, esta información se obtuvo de la herramienta computacional desarrollada para el cálculo del inventario de GEI, específicamente de la metodología de usos finales.

Se observa que tanto las emisiones de los sectores aéreo como marítimo presentan crecimientos durante el período. El sector aéreo presenta un crecimiento del 307% mientras que el sector marítimo crece 10 veces. Es importante destacar que las emisiones del sector marítimo son mayores que la del sector aéreo en 972 Gg de CO_{2e} en promedio para el período.

Tabla 2.4 Emisiones de CO_{2e} (Gg) para los sectores aéreo y marítimo (Fuente: Elaboración propia según Inventario Nacional de GEI)

Año	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Aéreo	513	491	620	675	681	740	896	882	1,028	1,166	1,117	1,292
Marítimo	499	519	575	582	695	856	1,451	1,786	1,787	1,980	2,082	2,300
Año	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Aéreo	1,390	1,754	2,047	1,904	1,723	1,944	1,947	1,662	1,827	2,046	2,088	
Marítimo	2,134	2,339	2,679	2,487	3,082	3,066	2,964	3,716	4,494	5,127	5,584	

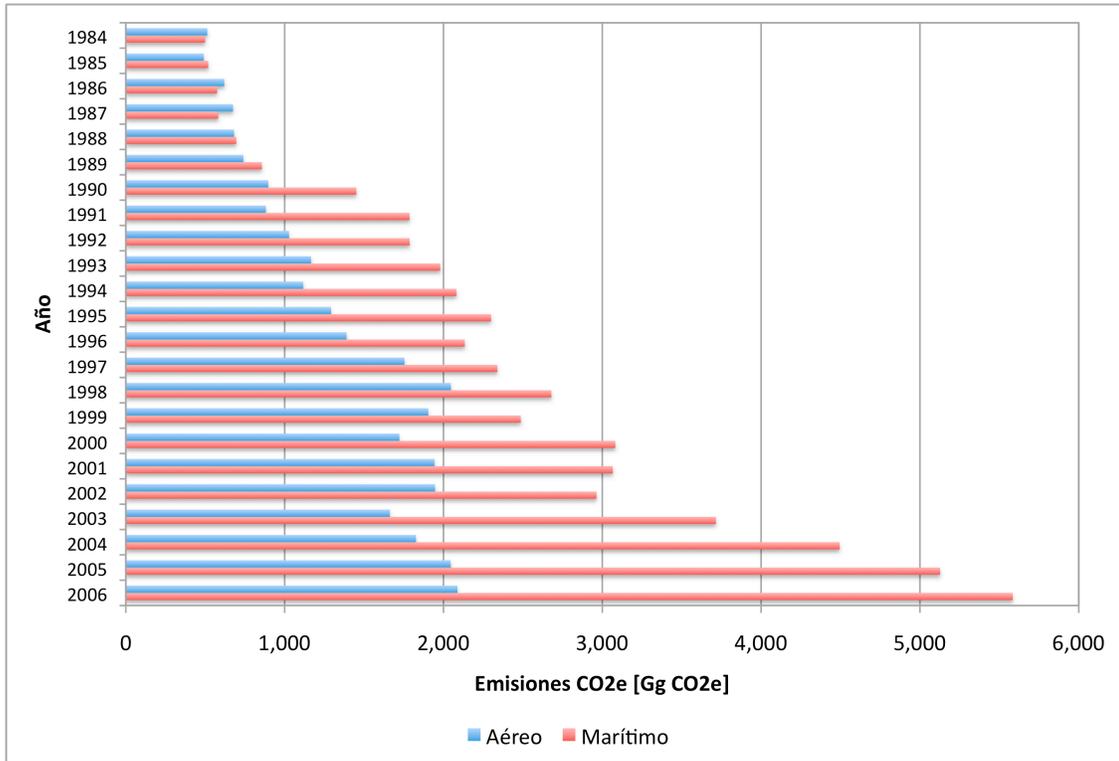


Figura 2.1 Emisiones de CO₂e para los sectores aéreo y marítimo (Fuente: Elaboración propia según Inventario Nacional de GEI)

3 METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES GEI Y CONSTRUCCIÓN DE LA SERIE DE TIEMPO 1984-2007

El presente capítulo describe el desarrollo metodológico para la estimación de emisiones y la construcción de la serie de tiempo para el período 1984-2007. La metodología propuesta seguirá la siguiente estructura: 1) Revisión de antecedentes, 2) Regresión de los datos obtenidos hasta el año 1984, 3) Estimación de emisiones para el periodo 1984-2007 y 4) Análisis de resultados, como lo indica la Figura 3.1.

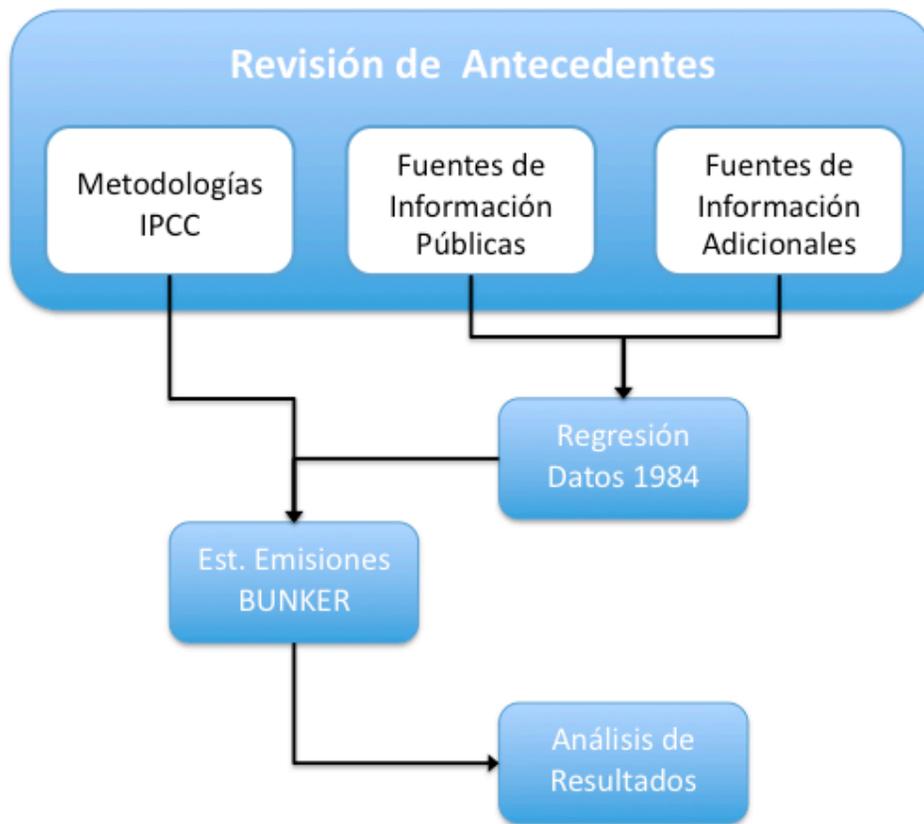


Figura 3.1 Diagrama de la metodología a utilizar para el estudio

A partir de la revisión de antecedentes y del análisis de la información disponible, tanto pública como adicional que se obtenga a través de las entrevistas, se define la metodología para desagregar el combustible nacional e internacional. Una vez definida esta metodología se procede a realizar la regresión de las variables de consumo para el período 1984-2007. Posteriormente, cuando se encuentre disponible toda la información necesaria para toda la serie de tiempo, se procederá a realizar la estimación de emisiones de GEI para operación nacional e internacional, donde se indica el nivel del método empleado y los factores de emisión utilizados.

En forma adicional, se completan las hojas de trabajo propuesta en las directrices 1996 del IPCC para preparar inventarios de GEI para los años 1994, 2000 y 2006. Para el resto de los años de la serie se utilizará un formato adaptado al anterior, proporcionado por CONAMA, este último para una aproximación Tier1. Para el caso aéreo, se diseña un formato adicional para obtener las emisiones en Tier 2a.

3.1 Fuentes de Información empleadas en el Desarrollo Metodológico

Las fuentes de información (públicas y adicionales) descritas en el Capítulo 2 pueden agruparse en información relacionada al consumo de combustible y en información que describe la actividad nacional e internacional.

3.1.1 Información de Consumo de Combustible

Luego de revisar las dos fuentes de información nacionales y públicas que reúnen las estadísticas de consumo de combustibles, se decide tomar como base los Balances Nacionales de Energía de la CNE (y no el Informe de la SEC), partiendo del análisis que la disponibilidad de la información pública para este caso posee una serie de tiempo más extensa y existe una desagregación directa para los sectores del transporte considerados en este estudio.

La Figura 3.2 y Figura 3.3 grafican los consumos de sector aéreo y marítimo, respectivamente. En cada gráfico se indican los valores que reporta el BNE para los años 1991-2007. Se observa que para el caso del transporte aéreo, los volúmenes para la serie de tiempo 1991-2007 de la gasolina de aviación son bajos en relación al kerosene de aviación (1-2% y 99-98%, respectivamente). En el caso del transporte marítimo la evolución es distinta, el petróleo diesel fue disminuyendo el volumen de consumo con el paso de los años (de un 70% a un 20% aproximadamente) mientras que el petróleo combustible fue en aumento (de un 30% a un 80% aproximadamente).

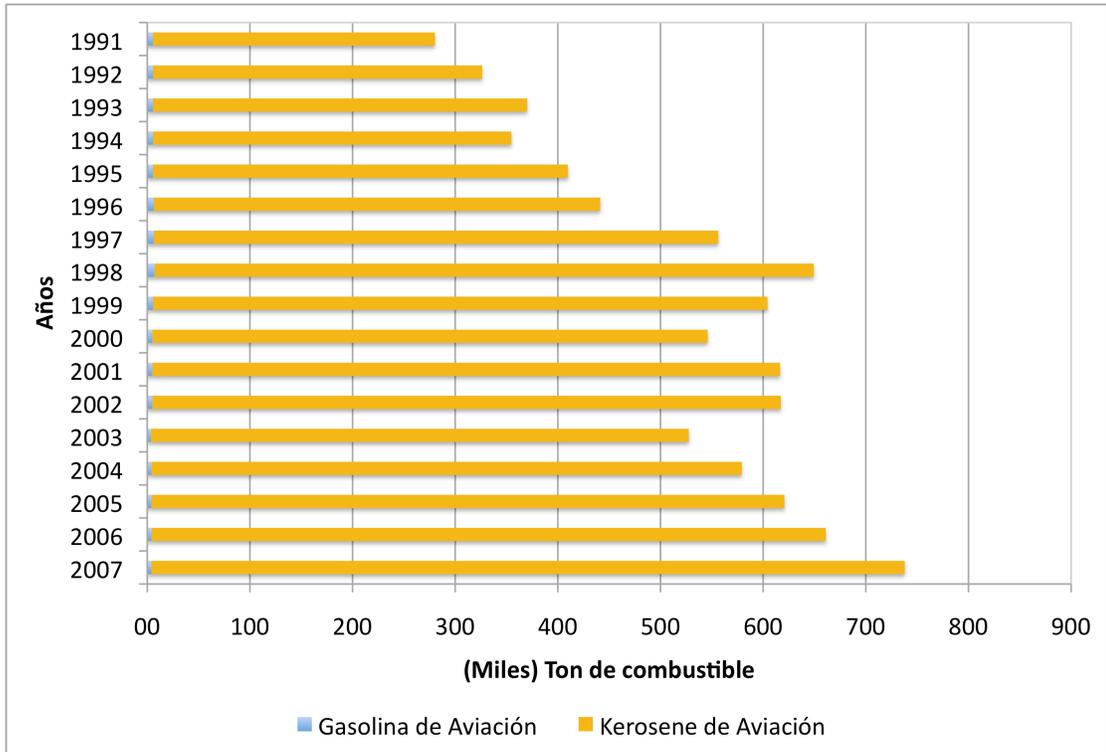


Figura 3.2 Consumo de Combustible Sector Aéreo (Fuente: Elaboración propia a partir del BNE)

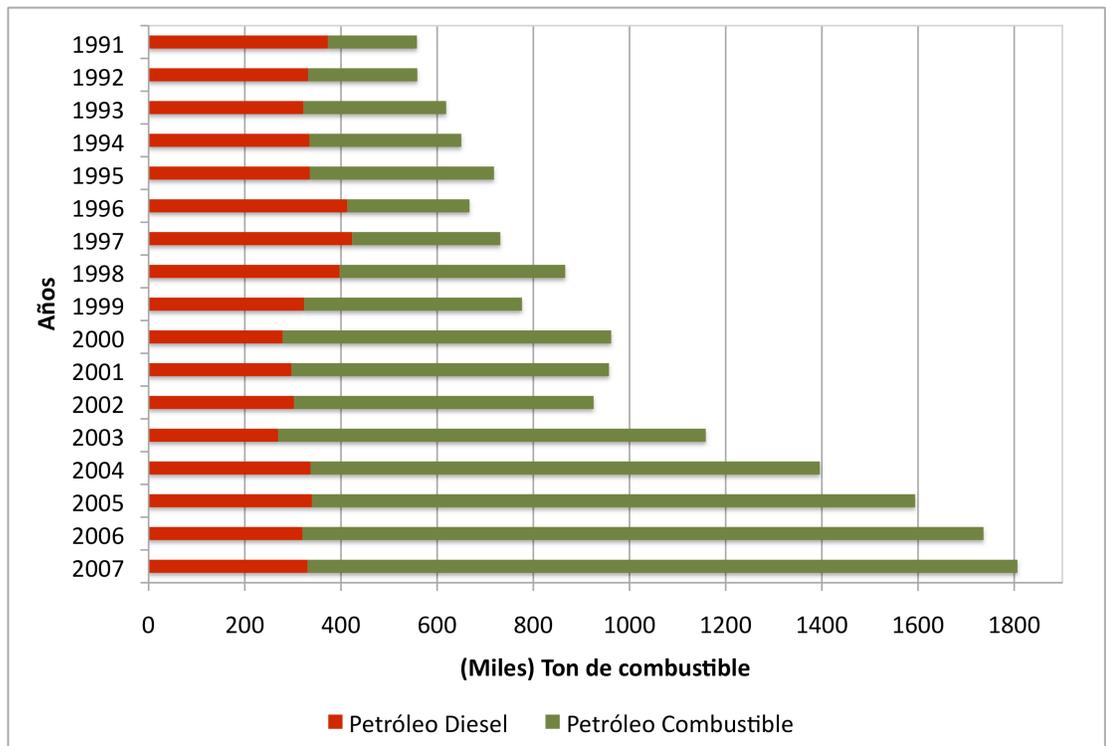


Figura 3.3 Consumo de Combustible Sector Marítimo (Fuente: Elaboración propia a partir del BNE)

Estos consumos deben ser desagregados por consumo nacional e internacional, para lo cual se utiliza la información proveniente de la base de datos entregada por el Servicio Nacional de Aduanas, la que permite obtener los volúmenes de consumo internacional tanto para el sector aéreo como para el sector marítimo.

La Figura 3.4 y Figura 3.5 grafican los consumos del sector aéreo y marítimo que posee Aduanas para los años 1991-2007. Se observa que para el caso del transporte aéreo, los volúmenes para la serie de tiempo 1991-2007 corresponden únicamente al kerosene de aviación, lo cual representa el hecho de que la gasolina de aviación se emplea en aviones más pequeños o de recreación, que normalmente no se utilizan para realizar viajes internacionales.

En el caso del transporte marítimo el petróleo diesel internacional es visiblemente menor que el petróleo combustible internacional, siguiendo una participación del orden del 10% y 90% del total anual para la serie, respectivamente. Esto representa el hecho de que los petróleos combustibles son principalmente utilizados por grandes embarcaciones que navegan por altamar y en las costas interiores donde se realiza el cabotaje, los barcos utilizan combustibles más refinados por normativa.

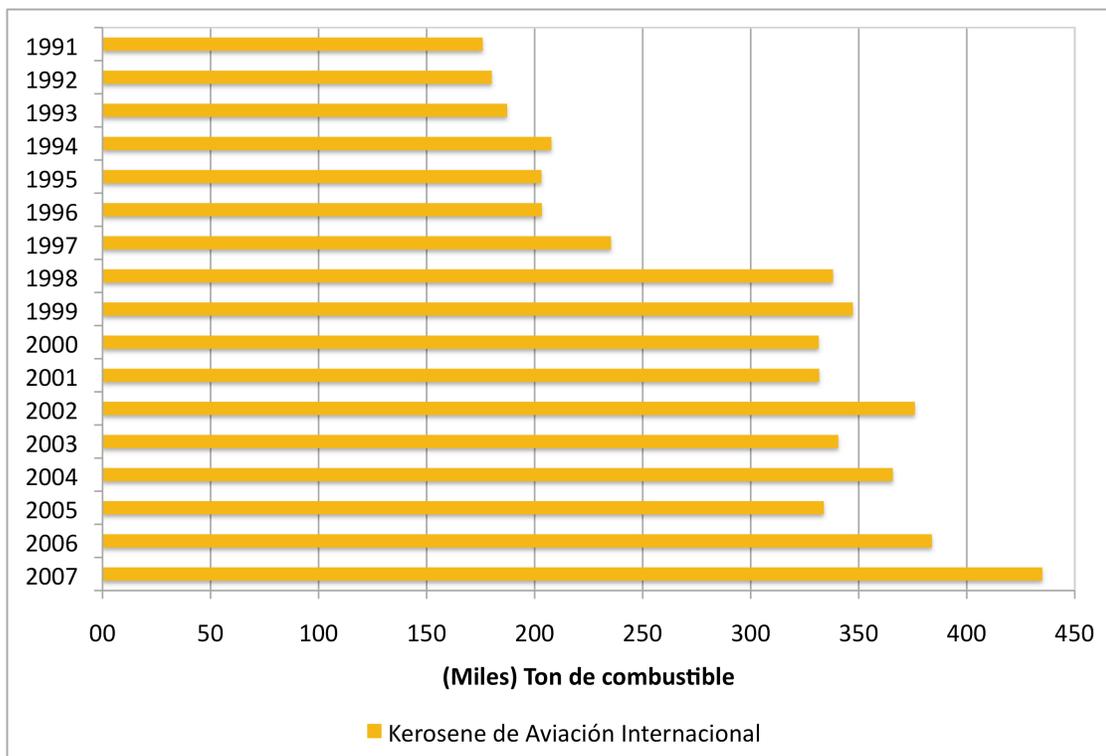


Figura 3.4 Consumo de Combustible Internacional Sector Aéreo (Fuente: Elaboración propia a partir de información de Aduanas)

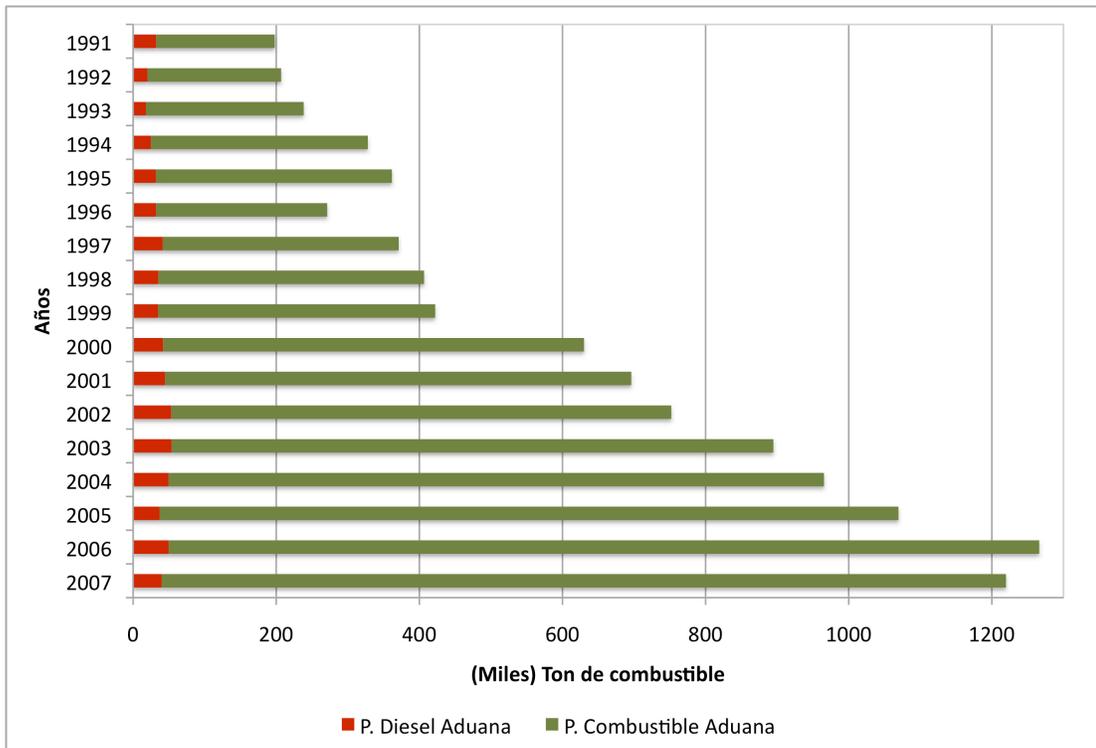


Figura 3.5 Consumo de Combustible Internacional Sector Marítimo(Fuente: Elaboración propia a partir de información de Aduanas)

En complemento para la desagregación del combustible marítimo, los datos entregados por los encargados del BNE para el combustible consumido por la pesca se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Consumo Pesquero, datos proporcionados por CNE

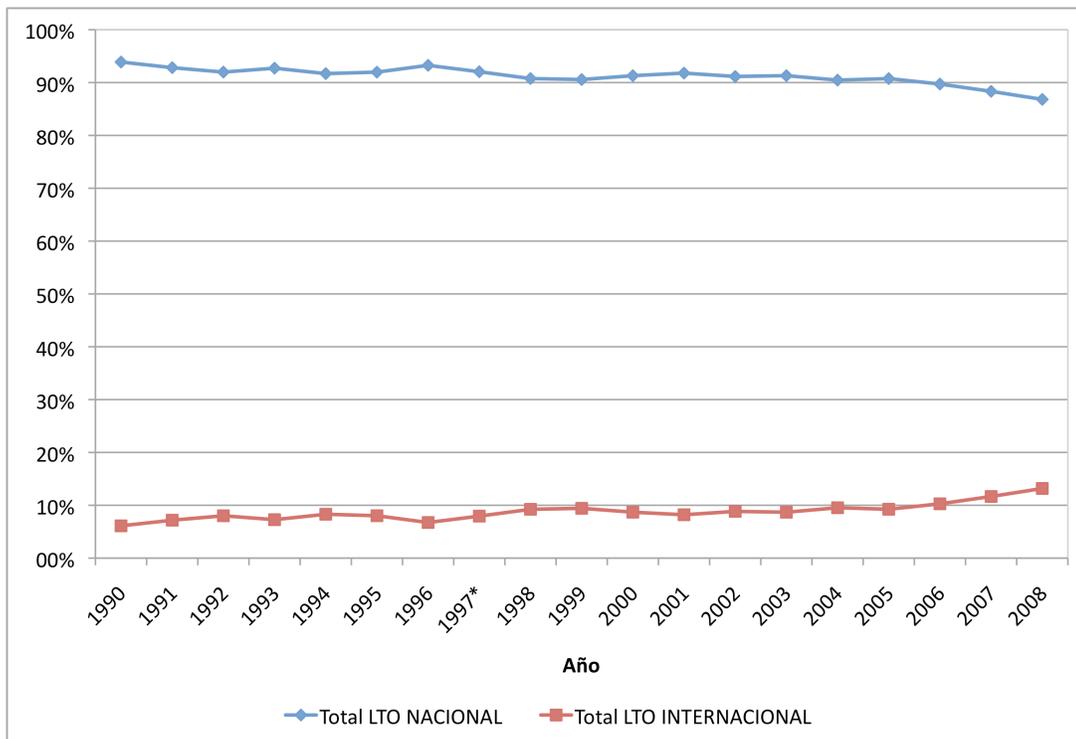
Año	P. Diesel (Miles) Ton	P. Combustible (Miles) Ton
2004	246	127
2005	234	137
2006	230	121
2007	256	163
2008	258	170

3.1.2 Información de Actividad para Transporte Aéreo y Marítimo

Las variables de actividad son empleadas en la aplicación de los modelos que permiten reconstruir las series en el pasado para aquellos años en que no se tiene información para los consumos de combustibles, es decir, para años anteriores a 1991. Las variables que se analizan para cada sector se mencionan a continuación.

Actividad Aérea

La Figura 3.6 indica la distribución de despegues y aterrizajes (LTO) ocurrida entre los años 1990-2008, donde se observa que en términos generales, la actividad nacional ha sido constante en torno al 90% de los LTO totales en el país, mientras que para la actividad internacional ha sido en torno al 10%. Sin embargo, se aprecia que a partir del año 2005 se observa una tendencia más marcada, ocurriendo una variación respecto a dicho año, durante el período 2005-2008, de -15% y 26% para lo la actividad nacional e internacional, respectivamente



*Año 1997 fue interpolado

Figura 3.6 Distribución de LTO nacional e Internacional para el período 1990-2008 (Fuente: Elaboración propia a partir de información de la DGAC)

La actividad de LTO es útil para definir el consumo nacional e internacional a través de estimaciones de consumo por defecto para cada etapa de vuelo para la aproximación Tier2a. La **Tabla 3.6** indica los factores de consumo para distintos tipos de aviones.

Adicionalmente, otras estadísticas que genera la JAC (Junta Aeronáutica Civil) entran como variables para ajustar los modelos de regresión, por poseer series para el período de interés. Estas series corresponden a:

- Pasajeros totales para vuelos nacionales (1984-2008)
- Pasajeros que llegan por vuelos internacionales (1973-2008)
- Pasajeros que salen por vuelos internacionales (1973-2008)

- Carga total para vuelos nacionales (1984-2008)
- Carga que llegan por vuelos internacionales (1973-2008)
- Carga que salen por vuelos internacionales (1973-2008)
- Hr y km volados por actividad nacional (1984-2008)

Actividad Marítima

Al igual que lo descrito para la actividad aérea, la actividad anual relacionada al transporte de carga internacional, de carga por cabotaje y las toneladas extraídas por pesca son variables que se emplean para ajustar modelos de regresión que permitan reconstruir la serie para años anteriores a 1991.

Las estadísticas que generan año a año DIRECTEMAR y SERNAP (Servicio Nacional de Pesca) permiten tener las siguientes series:

- Transporte de carga internacional (ton) para el período 1960-2008
- Transporte de carga por cabotaje (ton) para el período 1960-2008
- Capturas del sector pesquero (ton) para el período 1960-2008

A continuación, la Figura 3.7 indica el diagrama de información que se consideró en este estudio para el desarrollo de la metodología. Cada bloque debajo de los recuadros *Fuentes Públicas* y *Fuentes Adicionales* indican información que se analizó para este estudio. Los bloques grises y con flechas discontinúas representan aquella información que no fue considerada, como resultado del análisis o porque no se consiguió. Aquellos bloques azules y con flechas continuas representan información que sí está considerada en la metodología.

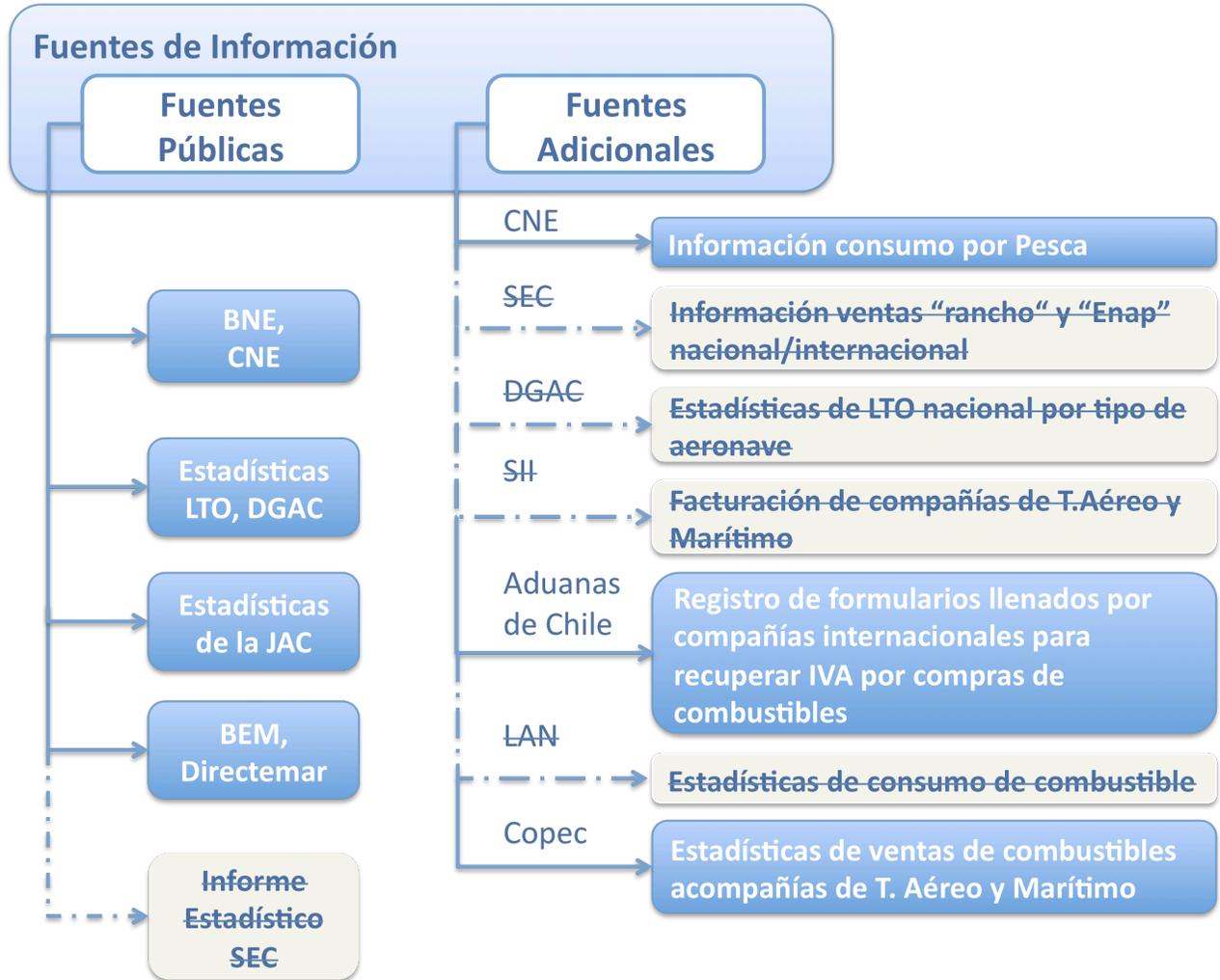


Figura 3.7 Diagrama de flujo de información consultada para el estudio

3.2 Metodología para Realizar la Regresión de Datos Relevantes

En esta sección se describe la metodología para realizar la regresión de los datos relevantes en el desarrollo metodológico, teniendo en consideración que uno de los objetivos específicos es calcular las emisiones GEI para los sectores del transporte aéreo y marítimo en el periodo 1984-2007, por lo que fue necesario reconstruir los valores de consumo de combustible para los años 1984-1990, dada la serie de tiempo que se dispone del BNE y Aduanas, ambas para el período 1991-2007.

3.2.1 Variables Explicativas por Sector

Una vez desagregados los datos por subsector y tipo de emisión (objetivo específico 1) y definidas las posibles variables explicativas se procedió a realizar el ajuste de la serie temporal y_t de los consumos para el periodo disponible en cada subsector y tipo de emisión.

Subsector Transporte Aéreo

En la Tabla 1 se presenta por cada subsector las variables que fueron consideradas en los análisis como posibles predictores de los consumo.

Las variables Gasolina de Aviación, Kerosene y LTO sólo disponible para el período 1990-2007, de modo que no se pudieron utilizar para predecir el consumo del período faltante. Las variables Kilómetros volados y Horas volados corresponden solo a vuelos nacionales.

Debido a la importancia de la variable LTO en la estimación final de las emisiones (Tier 2a), la serie (disponible para el periodo 1990-2007) se completó hasta el período 1984 mediante un modelo de serie de tiempo.

Tabla 3.2 Variables consideradas para el análisis de ajuste de los modelos en el subsector aéreo

VARIABLES AÉREO	SIGLA
Pasajero Total Nacional	PTN
Pasajero Internacional que Llegan	PILLE
Pasajero Internacional que Salen	PISA
Pasajero Total Internacional	PTI
Carga Total Nacional	CTN
Carga Internacional que Entra	CIEN
Carga Internacional que Sale	CISA
Carga Total internacional	CTI
LTO Nacional	LTON
LTO Internacional	LTOI
LTO Total	LTOT
Kilómetros Vuelos Nacionales	KM
Horas Vuelos Nacionales	HR
Gasolina de Aviación	G
Kerosene de Aviación	K
Total Gas Kerosene de Aviación	GKT
Consumo Nacional	CN
Consumo Internacional	CI

Fuentes: BNE, Aduanas, JAC, DGAC

Subsector Transporte Marítimo:

En la Tabla 2 se presenta por cada subsector las variables que fueron consideradas en los análisis como posibles predictores de los consumo.

Las series de los consumos de P. Diesel nacional y P. Combustible nacional antes de ser ajustadas debieron ser corregidas descontando los consumos por pesca. La metodología utilizada para tratar estos datos se presenta en un anexo.

Tabla 3.3 Variables consideradas para el análisis de ajuste de los modelos en el subsector Marítimo

VARIABLES MARÍTIMO	SIGLA
Petróleo Diesel Nacional	PDN
Petróleo Combustible Nacional	CN
Petróleo Diesel Pesca	PDP
Petróleo Combustible Pesca	CP
Petróleo Diesel (Nacional – Pesca)	PDNP
Petróleo Combustible (Nacional – Pesca)	CNP
Petróleo diesel Internacional	PDI
Petróleo Combustible Internacional	CI
Petróleo diesel	PDT
Petróleo Combustible	CT
Captura Pesca total (ton.)	CAP
Transporte Exterior (mileston.)	CAPEXT
Transporte Cabotaje (mileston.)	CAPCAB
PIB (Millones de dólares a precios constantes de 2000)	PIB
Población	POBL
PIB Variación anual base 2000	PIBVAR
Importación de bienes (Millones de dólares a precios constantes de 2000)	IMP
Exportación de bienes (Millones de dólares a precios constantes de 2000)	EXP
Consumo Total (Millones de dólares a precios constantes de 2000)	CONT

Fuentes: BNE, Aduanas, Cepal, Directemar y SERNAP, ADUANAS

3.2.2 Modelos

Se utilizaron dos tipos de modelos: econométricos de regresión lineal múltiple y de series de tiempo. El modelo seleccionado dependió de la característica de la serie y de la bondad de ajuste obtenida. En general, los modelos de series de tiempo presentaron mejores ajustes a pesar de lo corta que eran las series, lo cual es una limitante si se utiliza para predecir. A continuación se presenta la formulación de los modelos utilizados y los procedimientos de ajuste incluidos en los procesos de modelamiento. Se usaron los software SPSS y EVIEW para obtener las estimaciones de los parámetros y las predicciones.

Modelos de regresión lineal.

Los modelos de regresión lineal múltiple para ajustar y predecir la serie faltante de los consumos y_t se pueden expresar en la ecuación lineal general

$$y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i X_i + \varepsilon_t$$

Los parámetros como β del modelo de regresión se estimaron por mínimos cuadrados ordinarios. Una vez ajustado el modelo se procedió a predecir la serie de observaciones faltante para el período 1984-1990. Como criterio de selección del modelo, se utilizó la bondad de ajuste del modelo R^2 además de las pruebas estadísticas estándar sobre los coeficientes de regresión del modelo y autocorrelación de los residuos ε_t , último término incluido en el modelo.

Modelos de serie de tiempo

Una alternativa es modelar la serie de los consumos y_t como una serie de tiempo. El procedimiento utilizado se dividió en etapas. En la primera etapa se utilizó el método multiplicativo de descomposición estacional con el fin de remover las variaciones sistemáticas de largo plazo y estimar la tendencia cíclica que denominaremos x_t . En la segunda etapa la serie de tendencia cíclica se ajustó utilizando un modelo ARIMA de tipo autoregresivo. Finalmente los resultados se corrigieron usando los factores de estacionalidad encontrados en la segunda etapa. Para lograr la condición de estacionalidad la serie fue diferenciada una vez. El procedimiento ARIMA utilizado produce estimados de máxima verosimilitud.

La forma general del modelo que se usó fue un ARIMA y en la mayoría de los problemas fue un modelo autoregresivo diferenciado una vez.

$$Z_t = \alpha_0 + \phi_1 Z_{t-1} + \varepsilon_t$$

En la ecuación Z_t corresponde a las observaciones estacionarias y $Z_{t-1} = x_t - x_{t-1}$ observaciones estacionarias de los períodos anteriores estimados con la curva de tendencia, ϕ_t, α_0 representan los coeficientes de regresión del modelo y ε_t la componente de error.

Estos modelos predicen valores futuros por lo tanto fue necesario invertir la serie de tendencia estimada en la etapa 1. Un modelo de Holt se utilizó para estimar los valores perdidos cuando fue necesario.

3.3 Metodología de Estimación de Emisiones

A continuación se describe la metodología basada en el IPCC para la estimación de las emisiones de gas efecto invernadero para el transporte aéreo y marítimo.

3.3.1 Transporte Aéreo

Las emisiones aéreas dependen del número y del tipo de operaciones de aeronaves, los tipos y eficiencia de los motores, el combustible usado, el largo del vuelo, la selección de la potencia, el tiempo en cada etapa del vuelo y, en un menor grado, la altura a la cual son emitidos los gases.

De los 3 niveles metodológicos del IPCC, la metodología Tier 1 esta completamente basada en consumo total de combustible mientras que la metodología Tier 2 se basa en los ciclos de despegue y aterrizaje (LTOs) y uso de combustible.

La metodología empleada en este estudio para la estimación de emisiones generadas por el consumo de kerosene de aviación corresponde a la metodología de nivel Tier 2a del IPCC Guidelines 2006, pues se tiene la información estadística de LTO, sin embargo no se tuvieron las estadísticas de LTO por tipo de avión lo suficientemente completas como para haber empleado una Tier 2b.

Los pasos para estimar las emisiones de GEI para el transporte aéreo son:

1. Estimar el consumo total de aviación doméstica e internacional.
2. Estimar el consumo de combustible por LTO para las operaciones domésticas e internacionales.
3. Estimar el consumo de combustible por Crucero para las operaciones domésticas e internacionales.
4. Estimar las emisiones de las fases crucero y LTO para operaciones

$$TE = LTO_E + Crucero_E \quad \text{ec. 3.1}$$

$$LTO_E = N^{\circ} LTOs \cdot FE_{LTO} \quad \text{ec. 3.2}$$

$$TCC_{LTO} = N^{\circ} LTOs \cdot CC_{LTO} \quad \text{ec. 3.3}$$

$$Crucero_E = (TCC - TCC_{LTO}) \cdot FE_C \quad \text{ec. 3.4}$$

Donde

- TE : total de emisiones
 LTO_E : emisiones por LTO
 $Crucero_E$: emisiones por etapa crucero
 $N^{\circ}LTOs$: número de LTO
 FE_{LTO} : factor de emisión LTO
 TCC_{LTO} : total consumo combustible en etapa LTO
 CC_{LTO} : consumo de combustible por LTO
 TCC : total consumo de combustible
 FE_C : factor de emisión de etapa crucero

Los factores de emisión por defecto a utilizar para gases efecto invernadero se muestran en la **Tabla 3.6**, cuya fuente corresponde a la Guía IPCC 1996 para el cálculo de emisiones GEI en el transporte.

Según las buenas prácticas del IPCC, las emisiones generadas del consumo de gasolina de aviación debiesen ser Tier 1, metodología que será utilizada para el cálculo en este estudio. Los factores de emisión de CH_4 han sido promediados sobre todas las fases basados en la suposición que 10% del combustible se utiliza en la fase de LTO del vuelo. Las ecuaciones para este cálculo son:

$$E = Fuel \cdot EF \quad \text{ec. 3.5}$$

El método Tier 1 se debe utilizar en aeronaves que utilizan gasolina de aviación, el que solo se utiliza en aeronaves pequeñas y generalmente representan el 1% del consumo de combustible del sector aéreo.

Tabla 3.4 Factores de emisión de CO_2 IPCC por defecto para los combustibles comunes utilizados para transporte aéreo.

Tipo de Combustible	Por Defecto [kg/TJ]	Mínimo [kg/TJ]	Máximo [kg/TJ]
Gasolina de aviación	69300	67500	73000
Kerosene de aviación	71500	69800	74400

Tabla 3.5 Factores de emisión de CH₄ y N₂O IPCC por defecto para los combustibles comunes utilizados para transporte aéreo

Tipo de Combustible	CH ₄ Por Defecto (Sin Control) [kg/TJ]	N ₂ O Por Defecto (Sin Control) [kg/TJ]	Máximo [kg/TJ]
Todos los combustibles	0.5 ^a (-57%/+100%) ^b	2 (-70%/+150%) ^b	250 ±25% ^c

a En el modo crucero las emisiones de CH₄ se consideran despreciables (Wiesen et al., 1994). Para los ciclos LTO solamente el factor de emisión es 5 kg/TJ (10% del factor total de COV) (Olivier, 1991). Considerando que globalmente el 10% del combustible se quema en los ciclos de LTO (Olivier, 1995), el resultado promedio de la flota es de 0.5Kg/TJ.
b IPCC, 1999
c Juicio Experto
Los factores de emisión para otros gases (CO y NMVOC) y contenido de azufre incluidos en el IPCC Guidelines 1996 IPCC se pueden encontrar en el EFDB

Tabla 3.6 Factores de emisión y consumo LTO, IPCC 1996

Domestic	Fuel	SO ₂	CO	CO ₂	NO _x	NMVOC	CH ₄	N ₂ O
LTO (kg/LTO) - Average fleet	850	0.8	8.1	2680	10.2	2.6	0.3	0.1
LTO (kg/LTO) - Old fleet	1000	1.0	17	3150	9.0	3.7	0.4	0.1
Cruise (kg/ton)		1.0	7	3150	11	0.7	0	0.1
International	Fuel	SO ₂	CO	CO ₂	NO _x	NMVOC	CH ₄	N ₂ O
LTO (kg/LTO) - Average fleet	2500	2.5	50	7900	41	15	1.5	0.2
LTO (kg/LTO) - Old fleet	2400	2.4	101	7560	23.6	66	7	0.2
Cruise (kg/ton)		1.0	5	3150	17	2.7	0	0.1

3.3.2 Transporte Marítimo

La aproximación de nivel agregado Tier 1 corresponde a relacionar las emisiones con el consumo de combustible. Los factores de emisión están referidos al tipo de combustible utilizado y deben estar relacionados con la actividad (en términos del consumo). El cálculo esta basado en el combustible quemado y en los factores de emisión de gases efecto invernadero.

La ecuación se muestra a continuación:

$$E = \sum_{ab} [CC_{ab} \times FE_{ab}] \quad \text{ec. 3.6}$$

donde,

E : Emisión [kg].

CC_a : Combustible Consumido [TJ].

FE_a : Factor de emisión [kg/TJ].

a : Tipo de combustible (diésel, gasolina, GLP, etc.)

b : Tipo de embarcación (i.e., barco o bote, y tipo de motor)

Los factores de emisión recomendados por el IPCC Guidelines por defecto son los indicados en la **Tabla 3.7**, donde se utiliza:

Tabla 3.7 Factores de emisión de CO₂ IPCC por defecto para los combustibles comunes utilizados para transporte marítimo.

[kg/TJ]			
Combustible	Por Defecto	Mínimo	Máximo
Petróleo Gas/Diesel	74100	72600	74800
Residual Oil (Petróleos Residuales)	77400	75500	78800

En Tier 1 se consideran factores por defecto para CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC. Estos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.8 Factores de emisión de CH₄ y N₂O IPCC (1996) por defecto para los combustibles comunes utilizados para transporte marítimo.

Tipo de embarcación	CH ₄ [kg/TJ]	N ₂ O [kg/TJ]	NO _x [kg/TJ]	CO [kg/TJ]	NMVOC [kg/TJ]
Barcos en Rutas Oceánicas	7	2	1800	180	52
*Valores por defecto derivados de motores diesel utilizando Fuel Oil Pesado					

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se muestran los resultados de aplicar la metodología descrita en el Capítulo 3, la cual considera los resultados de la desagregación de combustible nacional e internacional, de la regresión y finalmente, del cálculo de las emisiones.

4.1 Resultados de Combustible Nacional e Internacional

A continuación se indican los resultados de restar el combustible declarado en Aduana (combustible internacional) al total global que reporta el BNE, para los sectores aéreo y marítimo. Los resultados se muestran desde al año 1991 en adelante, dada la disponibilidad de información tanto de Aduanas como del BNE.

4.1.1 Sector Aéreo

La Figura 4.1 indica cómo se distribuye anualmente el kerosene de aviación nacional e internacional para el sector aéreo. Se observa que en la tendencia creciente para el combustible global aéreo, la participación del consumo nacional fue aumentando desde el año 1991 al 2007, representado por un 36% hasta un 40% respecto del total, respectivamente. El máximo de participación para el consumo nacional fue en el año 1997 con un 57% respecto del total.

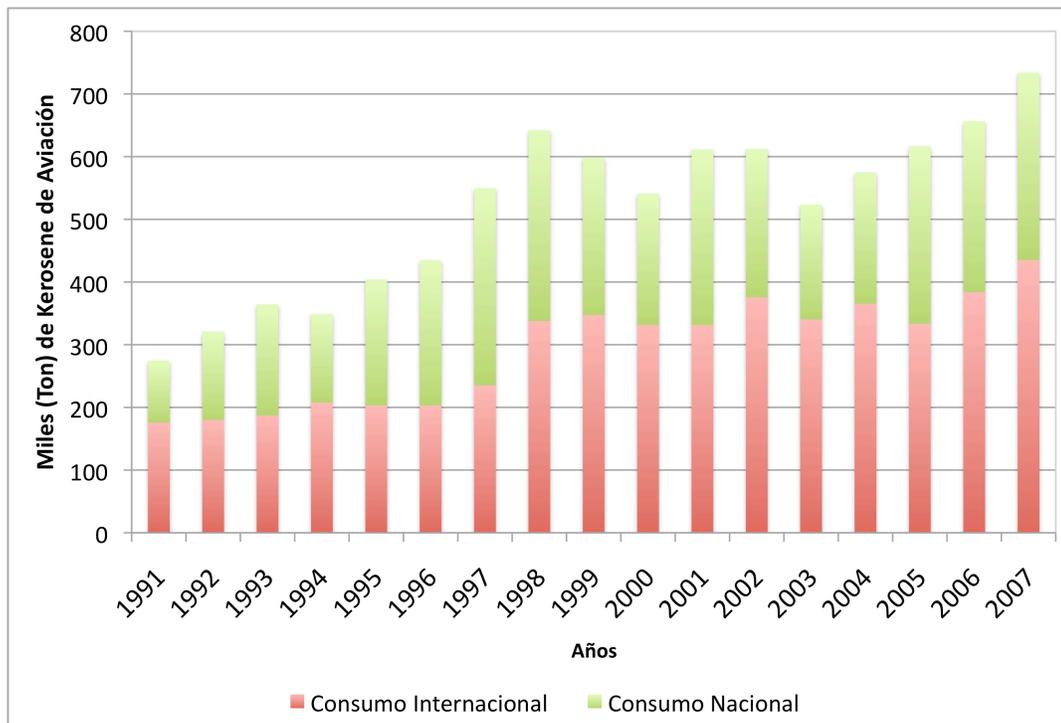


Figura 4.1 Consumo de kerosene de aviación nacional e internacional para sector aéreo

El combustible nacional total para el sector aéreo debe incluir el total para la gasolina de aviación que reporta el BNE. La Tabla 4.1 indica los resultados para la serie 1991-2007 de la desagregación de combustible aéreo que se obtuvo con la información disponible.

Tabla 4.1 Desagregación de consumo de combustible en el sector aéreo

Año	Consumo Nacional		Consumo Internacional
	Gasolina de Aviación (Miles) Ton	Kerosene de Aviación (Miles) Ton	Kerosene de Aviación (Miles) Ton
1991	5,6	98,6	176,0
1992	5,6	140,6	180,2
1993	5,6	177,2	187,3
1994	5,6	141,4	207,7
1995	5,6	201,0	203,2
1996	6,3	231,6	203,4
1997	6,3	314,6	235,3
1998	7,0	304,2	338,1
1999	5,6	251,3	347,3
2000	4,9	209,6	331,5
2001	4,9	279,8	331,7
2002	4,9	236,3	376,0
2003	3,5	183,5	340,6
2004	4,2	209,3	365,8
2005	4,1	282,8	333,9
2006	4,2	272,9	383,9
2007	3,9	299,0	435,0

Adicionalmente, para determinar las emisiones utilizando la metodología Tier 2a se calcularon los consumos por etapa LTO y Crucero, para la actividad nacional e internacional del sector aéreo, aplicando los factores de consumo por LTO de la **Tabla 3.6**. En el caso de LTO nacionales se debe considerar sólo aquellos LTO que representen la flota aérea que utilice kerosene de aviación, lo cual se obtuvo a partir de los datos proporcionados por la DGAC (2007-2008) para LTO por tipos de avión, donde se plantearon los siguientes supuestos:

- Los totales de LTO desagregados por tipo de avión para los años 2007-2008 representan en promedio un 37% de los LTO totales nacionales. Este valor se obtuvo considerando los LTO para cuatro modelos de avión principales (B732, A318, A319 y A322) los cuales realizan el 84% de los LTO registrados por la DGAC dividido por las estadísticas generales que se publican en Internet donde se registran la totalidad de los LTO que incluye tanto aviones pequeños y comerciales.
- Se calculó el combustible por LTO nacional multiplicando el factor de consumo de la **Tabla 3.6** por el 37% de los LTO de las estadísticas generales para vuelos nacionales que la DGAC publica en Internet.
- El consumo crucero nacional se obtiene de restar el consumo LTO nacional del total nacional declarado en la Tabla 4.1, para el kerosene de aviación.

- Para el consumo internacional se multiplicó el factor de consumo de la **Tabla 3.6** por el total de LTO de las estadísticas generales, pues se consideró despreciable el porcentaje de aviones a gasolina que realicen vuelos internacionales.
- El consumo crucero internacional se obtiene de restar el consumo LTO internacional del total internacional declarado en la **Tabla 4.1**.

Los resultados de desagregar el consumo de la **Tabla 4.1** por etapa LTO y Crucero se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.2 Consumo de kerosene de aviación por etapa LTO y crucero

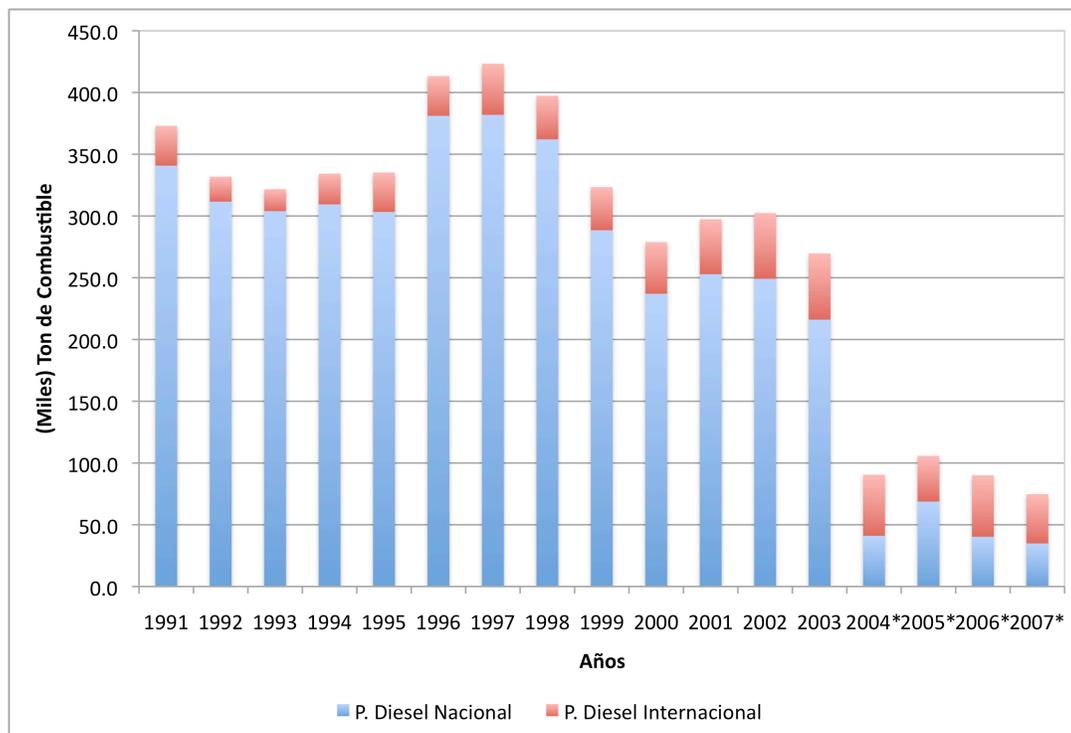
Año	kerosene de aviación nacional		kerosene de aviación internacional	
	LTO (miles) Ton	Crucero (miles) Ton	LTO (miles) Ton	Crucero (miles) Ton
1984	59,6	43,6	22,7	82,6
1985	66,1	46,6	26,6	60,7
1986	66,0	42,7	31,5	57,2
1987	68,9	44,2	34,6	56,1
1988	70,5	47,6	36,6	58,0
1989	77,8	55,0	40,7	76,1
1990	80,8	52,3	42,1	63,9
1991	78,5	97,4	48,6	50,1
1992	79,0	101,2	55,0	85,6
1993	96,3	90,9	60,5	116,8
1994	101,6	106,2	73,5	67,8
1995	114,2	88,9	79,7	121,4
1996	140,3	63,1	81,0	150,6
1997	135,0	100,3	93,3	221,3
1998	129,7	208,4	105,6	198,6
1999	119,1	228,2	99,1	152,1
2000	129,3	202,1	90,8	118,7
2001	132,1	199,6	94,2	185,6
2002	127,8	248,2	96,5	139,8
2003	123,8	216,7	95,0	88,5
2004	115,3	250,5	97,1	112,2
2005	121,7	212,1	99,2	183,6
2006	112,4	271,5	102,9	170,0
2007	112,1	322,9	118,3	180,7

4.1.2 Sector Marítimo

Para el caso marítimo, la Figura 4.2 indica cómo se distribuye anualmente el petróleo diesel para uso nacional e internacional, donde el período 2004-2007 descuenta además el consumo por pesca. Se observa que la pesca tiene una importante participación dentro del consumo nacional del petróleo diesel para el sector marítimo, representando en promedio para estos 4 años un 84% respecto del total nacional. Este hecho refleja lo relevante de separar los consumos pues de otra manera se estaría sobre estimando las emisiones generadas por el concepto transporte marítimo que no debiese incluir a la pesca por ser considerada una actividad industrial y no de transporte.

En relación al consumo internacional para el petróleo diesel, se observa en general una baja participación que alcanza en promedio un 11% respecto del global reportado por el BNE, para la serie 1991-2007.

La Tabla 4.3 indica los resultados para la serie 1991-2007 de la desagregación del petróleo diesel para uso en el transporte marítimo que se obtuvo con la información disponible, recordando que los años anteriores al 2004 no descuentan la pesca.



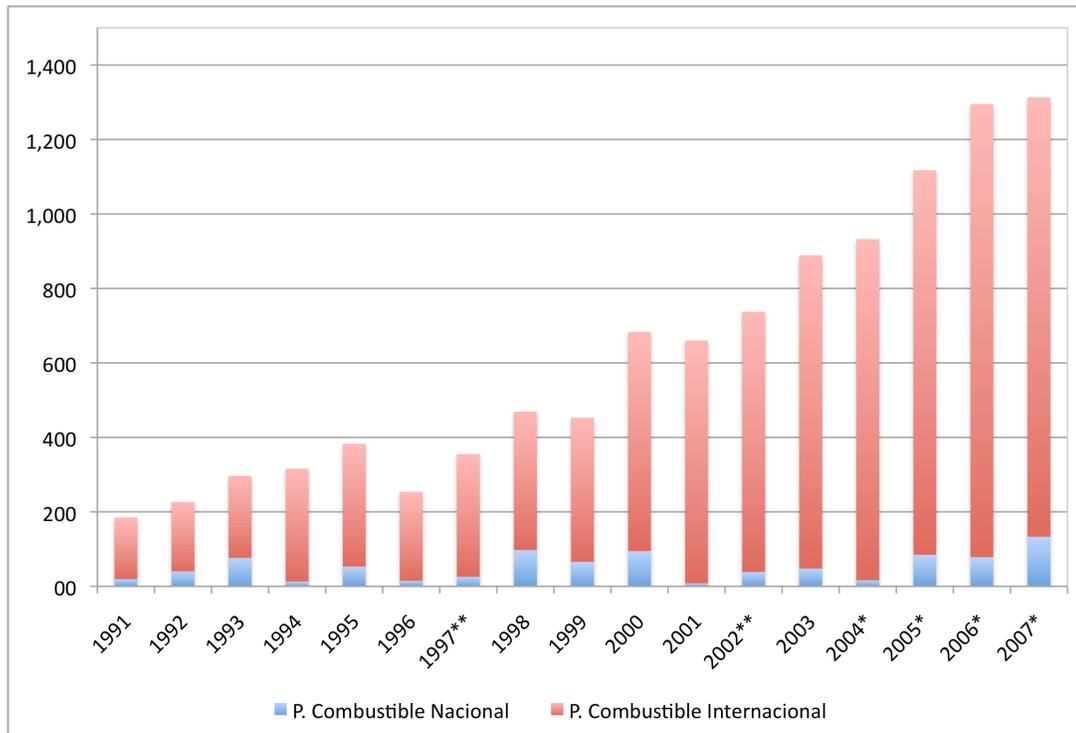
*Año donde se descontó el consumo por pesca

Figura 4.2 Consumo petróleo diesel nacional e internacional para sector marítimo

Tabla 4.3 Desagregación de consumo de petróleo diesel en el sector marítimo

Año	P. Diesel Nacional (Miles) Ton	P. Diesel Internacional (Miles) Ton	P. Diesel Nacional SIN Pesca (Miles) Ton
1991	340,8	32,2	-
1992	311,7	20,1	-
1993	304,0	17,8	-
1994	309,4	24,9	-
1995	303,3	31,9	-
1996	381,2	32,1	-
1997	381,9	41,4	-
1998	362,1	35,2	-
1999	288,5	34,9	-
2000	237,0	41,8	-
2001	252,9	44,5	-
2002	249,1	53,3	-
2003	216,0	53,6	-
2004	287,5	49,4	41,09
2005	303,0	37,0	68,79
2006	270,4	49,7	40,32
2007	290,9	39,8	34,88

En relación al otro combustible importante para el sector marítimo, la Figura 4.3 indica la distribución anual para el petróleo combustible nacional e internacional.



* Año donde se descontó el consumo por pesca

** Año donde se reconstruyó el valor de BNE

Figura 4.3 Consumo petróleo combustible nacional e internacional para sector marítimo

Nuevamente, el período 2004-2007 descuenta además el consumo por pesca para el petróleo combustible. En este caso, la pesca no tiene una participación tan alta como el caso del petróleo diesel (Figura 4.2), donde el promedio para estos 4 años fue de 66% respecto del total nacional.

En relación al consumo internacional para el petróleo combustible, se observa en general una alta participación que alcanza en promedio un 87% respecto del global reportado por el BNE, para la serie 1991-2007. Esto refleja la importancia de separar los consumos por actividad nacional e internacional, pues de otra forma se estaría sobre estimando considerablemente las emisiones nacionales por concepto de transporte marítimo. Se debe señalar que los años 1997 y 2002 se generaron a partir de la reconstrucción del valor global del BNE para el petróleo combustible, pues del análisis de resultados con los datos de aduana, se tuvo inicialmente un resultado negativo para el consumo nacional.

La Tabla 4.4 indica los resultados para la serie 1991-2007 de la desagregación del petróleo combustible para uso en el transporte marítimo que se obtuvo con la información disponible, recordando que los años anteriores al 2004 no descuentan la pesca.

Tabla 4.4 Desagregación de consumo de petróleo combustible en el sector marítimo

Año	P. Combustible Nacional (Miles) Ton	P. Combustible Internacional (Miles) Ton	P. Combustible Nacional SIN Pesca (Miles) Ton
1991	19,3	165,7	-
1992	40,4	186,6	-
1993	76,4	220,6	-
1994	12,9	303,1	-
1995	53,2	329,8	-
1996	14,9	239,1	-
1997	25,6	329,6	-
1998	97,7	371,3	-
1999	65,8	387,2	-
2000	94,8	588,2	-
2001	8,4	651,6	-
2002	38,7	698,7	-
2003	47,8	841,2	-
2004	143,0	916,0	16,3
2005	221,5	1032,5	84,8
2006	199,5	1216,5	78,5
2007	296,1	1179,9	133,3

4.2 Resultados de la Regresión de Datos

A continuación se indican los resultados de los modelos que se ajustaron a las variables de actividad, tanto para aéreo como marítimo, para realizar la regresión de datos de consumo.

4.2.1 Sector Aéreo Nacional

Los modelos analizados para reconstruir la serie del kerosene de aviación y gasolina de aviación, ambos para la actividad nacional, se describen a continuación.

Kerosene de Aviación

- **Modelo 1**

La variable “Pasajeros que salen” desfasada en un periodo fue la que mejor ajustó a la serie de consumo nacional de kerosene de aviación.

$$CN_t = \beta_0 + \beta_1 P_{t-1} + \varepsilon_t ; t = 1, \dots, n$$

Donde

CN_t : Representa el consumo nacional en el año t

P_{t-1} : Pasajeros que salen en el año t-1

Modelo ajustado: $CN_t = 70619231,8 + 166,103 P_{t-1}$; $R^2 = 0,91$

• **Modelo 2**

Se ajustó un modelo de regresión múltiple. El modelo sólo considera variables predictivas asociadas directamente a consumos nacionales. Las dos variables no significativas que mejor ajustan al modelo fueron “Kilómetros volados nacionales” y “Pasajeros totales nacionales”.

$$CI_t = \beta_0 + \beta_1 H_t + \beta_2 P_t + \varepsilon_t ; t = 1, \dots, n$$

Donde CI_t : Representa el consumo nacional en el año t

H_t : Horas volados en el año t

P_t : Pasajeros totales en el año t

Modelo ajustado $CI_t = 91600096,7 - 3408,3 H_t + 163,3 P_t$; $R^2 = 0,924$

En conclusión, se utiliza el **Modelo 2**, ya que presenta el mejor ajuste ($R^2 = 0,924$) y las variables predictivas utilizadas responden sólo a consumos de tipo nacional. Luego, la aplicación de este modelo genera los siguientes resultados para la serie del kerosene de aviación nacional:

Tabla 4.5 Resultados Modelo 2 de regresión para el kerosene de aviación nacional (1984-1990)

Año	Kerosene de Aviación (kg)
1984	103.172.394
1985	112.779.211
1986	108.671.191
1987	113.126.906
1988	118.130.336
1989	132.750.499
1990	133.101.698

Gasolina de Aviación

• **Modelo 1A**

Este modelo incluye incorpora la variable tiempo al modelo anterior. El ajuste obtenido con este modelo fue $R^2 = 0,924$.

$$CI_t = \beta_0 + \beta_1 K_t + \beta_2 T_t + \varepsilon_t ; t = 1, \dots, n$$

Donde

CI_t : Representa el consumo gasolina nacional en el año t

K_t : Kilómetros de vuelos nacional en el año t

T_t : Tiempo (año) en período t

Modelo ajustado $CI_t = 542,4 + 7,276E - 05 K_t - 0,2701 T_t$; $R^2 = 0,924$

- **Modelo 2A**

Este es un modelo final ARIMA (1,d=1,0) , diferenciado una vez del tipo autoregresivo. La variable original y_t fue inicialmente tratada, suavizada y transformada en variable de tendencia que incorpora una componente cíclica. Sobre los valores de tendencia denominados x_t se obtuvo la ecuación de ajuste autoregresiva siguiente. Los resultados finales de este modelo fueron corregidos por los índices estacionales encontrados en el suavizamiento de la serie.

$$\hat{Z}_t = 0,10207 + 0,76688 Z_{t-1}$$

Donde $\hat{Z}_t = x_t - x_{t-1}$

El coeficiente de retardo es significativo para cualquier nivel de riesgo. No así la constante del modelo.

Tabla 4.6 Estimaciones de los parámetros

		Estimates	Std Error	t	Approx Sig
Retardos no estacionales	AR1	0,76688	0,146	5,265	0,000
Constante		0,10207	0,122	0,838	0,414

Se utilizó el algoritmo de Melard para la estimación.

En conclusión, se utiliza el **Modelo 1A**, ya que presenta el mejor ajuste ($R^2 = 0,924$)

Tabla 4.7 Resultados Modelo 2 de regresión para la gasolina de aviación nacional (1984-1990)

Año	Gasolina de Aviación (miles) ton
1984	6,55
1985	6,49
1986	6,69
1987	5,91
1988	6,13
1989	6,06
1990	6,24

4.2.2 Sector Aéreo Internacional

Los modelos analizados para reconstruir la serie del kerosene de aviación internacional fueron 3, lo cuales se describen a continuación:

- **Modelo 1**

La variable “Kilómetros volados” fue la que mejor ajustó a la serie de consumo internacional. Si bien este modelo que presento el mejor ajuste la variable explicativa utilizada para explicar los consumos internacionales corresponde a una variable que toma en cuenta los kilómetros de vuelo de las naves nacionales.

$$CI_t = \beta_0 + \beta_1 K_t + \varepsilon_t ; t = 1, \dots, n$$

Donde

CI_t : Representa el consumo internacional en el año t

K_t : Kilómetros volados nacionales en el año t

Modelo ajustado $CI_t = 43376725,6 + 4870,3 K_t ; R^2 = 0,85$

- **Modelo 2**

Las correlaciones de las variables ligadas directamente a consumos internacionales tienen niveles inferiores respecto de los encontrados en los consumos nacionales. La variable “Carga internacional que sale” fue la que mejor ajustó a la serie de consumo internacional.

$$CI_t = \beta_0 + \beta_1 G_t + \varepsilon_t ; t = 1, \dots, n$$

Donde

CI_t : Representa el consumo internacional en el año t

G_t : Carga internacional que sale del país en el año t

Modelo ajustado $CI_t = 48579922,5 + 2,197 G_t ; R^2 = 0,64$

- **Modelo 3**

Este modelo incluye incorpora la variable tiempo al modelo anterior. El ajuste mejora respecto al Modelo 2.

$$CI_t = \beta_0 + \beta_1 G_t + \beta_2 T_t + \varepsilon_t ; t = 1, \dots, n$$

Donde

CI_t : Representa el consumo internacional en el año t

G_t : Carga internacional que sale del país en el año t

T_t : Tiempo (año) en período t

Modelo ajustado $CI_t = 18867761891,7 + 4,126 G_t - 9492027,9 T_t$; $R^2 = 0,72$

En conclusión, se utiliza el **Modelo 3**, cuyo ajuste fue $R^2 = 0,72$ y utiliza como variable predictiva al consumo de tipo internacional y la variable año. El Modelo 1 no se escogió pues se prefirió aquel ajuste realizado con variables relacionadas directamente a la operación internacional.

Luego, la aplicación de este modelo genera los siguientes resultados para la serie del kerosene de aviación nacional:

Tabla 4.8 Resultados Modelo 3 de regresión para el kerosene de aviación internacional (1984-1990)

Año	Kerosene de Aviación (kg)
1984	105.299.232
1985	87.288.674
1986	88.754.697
1987	90.714.830
1988	94.601.089
1989	116.770.474
1990	106.006.880

4.2.3 Sector Marítimo Nacional

A continuación se presentan los datos empleados para reconstruir los consumos nacionales del petróleo diesel y el petróleo combustible. Se debe señalar que los consumos proyectados tienen descontada la pesca, previo a aplicar la metodología señalada en el Anexo 1 para descontar la pesca para toda la serie de combustible marítimo nacional presentada en la Sección 4.1.

Petróleo Diesel

- **Modelo 1**

Este es un modelo final ARIMA (1,1,0) , diferenciado una vez del tipo autoregresivo. La variable original

$$\hat{Z}_t = 4222208,8 + 0,633 Z_{t-1}$$

Donde $\hat{Z}_i = x_i - x_{i-1}$

Sólo el coeficiente de los retardos es significativa en el modelo para cualquier nivel de riesgo y la constante del modelo solo para niveles de riesgo superiores a 0,66.

Tabla 4.9 Estimaciones de los parámetros

	Estimates	Std Error	t	Approx Sig
Retardos no estacionales				
AR1	0,633	0,205	3,092	0,007
Constante	4222208,852	2139586,213	1,973	0,066

Se utilizó el algoritmo de Melard para la estimación.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para el período 1984-1990 obtenidos de aplicar el modelo descrito anteriormente.

Tabla 4.10 Resultados Modelo para el petróleo diesel nacional (1984-1990)

Año	Petróleo Diesel (kg)
1984	122515216
1985	137955539
1986	131645334
1987	112271238
1988	104939421
1989	116114580
1990	107897903

Petróleo Combustible

- **Modelo 2**

Este es un modelo final ARIMA (1,d=1,0) , diferenciado una vez del tipo autoregresivo. La variable original y_i fue inicialmente tratada suavizada y transformada en variable de tendencia que incorpora una componente cíclica. Sobre los valores de tendencia denominados x_i se obtuvo la ecuación de ajuste autoregresiva siguiente. Los resultados finales de este modelo fueron corregidos por los índices estacionales encontrados en el suavizamiento de la serie. El modelo 1 coincide con el modelo propuesto cuando no se hace la corrección.

$$\hat{Z}_i = -4839002,2 + 0,706 Z_{i-1}$$

Donde $\hat{Z}_i = x_i - x_{i-1}$

Sólo el coeficiente de los retardos es significativa en el modelo para un nivel de riesgo superior a 0,001.

Tabla 4.11 Estimaciones de los parámetros

		Estimates	Std Error	t	Approx Sig
Retardos no estacionales	AR1	0,706	0,168	4,198	0,001
Constante		-4839002,234	5262499,087	-,920	0,371

Se utilizó el algoritmo de Melard para la estimación.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para el período 1984-1990 obtenidos de aplicar el modelo descrito anteriormente.

Tabla 4.12 Resultados Modelo para el petróleo combustible nacional (1984-1990)

Año	Petróleo Combustible (kg)
1984	8902655
1985	23215414
1986	21976732
1987	37490073
1988	17619197
1989	39125209
1990	32334311

4.2.4 Sector Marítimo Internacional

A continuación se presentan los datos empleados para reconstruir los consumos internacionales del petróleo diesel y el petróleo combustible.

Petróleo Diesel

- **Modelo 1**

Este modelo es un modelo de regresión múltiple que considera dos variables predictoras “Importación de bienes” y “Exportación de bienes”. Este modelo presentó un ajuste con un $R^2 = 0,635$.

$$CDI_t = \beta_0 + \beta_1 I_t + \beta_2 E_t + \varepsilon_t ; t = 1, \dots, n$$

donde

CDI_t : Representa el consumo Diesel internacional en el año t

I_t : Importación de bienes en el año t

E_t : Exportación de bienes en el año t

Modelo ajustado $CDI_t = 8941728 - 1477,8I_t + 2948,3E_t$

Los coeficientes de regresión del modelo que se presentan en la tabla siguiente son significativos para un nivel de riesgo del 6%. La variable “Exportación en bienes” presenta el mayor peso en el modelo y que se muestra en el valor del coeficiente estandarizado.

Coeficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	8941728	6154412		1,453	,168
	Importación de bienes (Millones de dólares a precios constantes de 2000)	-1477,815	712,843	-1,158	-2,073	,057
	Exportación de bienes (Millones de dólares a precios constantes de 2000)	2948,279	899,151	1,832	3,279	,005

a. Variable dependiente: P. diesel int.

La Tabla 4.13 muestra los resultados obtenidos para el período 1984-1990 obtenidos de aplicar el modelo descrito anteriormente.

Tabla 4.13 Resultados Modelo 1 para el petróleo diesel internacional (1984-1990)

Año	Petróleo Diesel (kg)
1984	22695332
1985	20242840
1986	24550609
1987	24605490
1988	23790056
1989	21052866
1990	25272189

Petróleo Combustible

- **Modelo 2**

Este modelo corresponde a un modelo exponencial. No fue posible encontrar un buen ajuste con los modelo de regresión lineal múltiple ni de series de tiempo. El ajuste obtenido con este modelo fue $R^2 = 0,963$.

$CCI_t = \beta_0 \exp(\beta_1 T)\epsilon_t ; t = 1, \dots, n$

Donde

CCI_t : Representa el consumo de combustible internacional en el año t

T_t : Tiempo (año) en período t

Modelo ajustado $CI_t = 1,47E - 103 \exp(0,12843 T)$

El coeficiente de regresión del modelo es significativo.

Tabla 4.14 Resumen del modelo y estimaciones de los parámetros

Variable dependiente: P- combustible marítimo

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros	
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
Exponencial	0,965	413,627	1	15	0,000	1,47E-103	0,12843

La variable independiente es años.

La Tabla 4.15 muestra los resultados obtenidos para el período 1984-1990 obtenidos de aplicar el modelo descrito anteriormente.

Tabla 4.15 Resultados Modelo para el petróleo combustible internacional (1984-1990)

Año	Petróleo Combustible (kg)
1984	135084390
1985	134917724
1986	141494027
1987	146622330
1988	154174854
1989	149662211
1990	157195301

4.2.5 LTO para el sector aéreo

Para poder aplicar Tier 2 a en la estimación de las emisiones aéreas es necesario completar los datos de LTO nacional e internacional, lo cual se describe a continuación.

LTO nacional

Este es un modelo final ARIMA (1,d=1,0) , diferenciado una vez del tipo autoregresivo. La variable original y_t fue inicialmente tratada suavizada y transformada en variable de tendencia que incorpora una componente cíclica. Sobre los valores de tendencia denominados x_t se obtuvo la ecuación de ajuste autoregresiva siguiente. Los resultados finales de este modelo fueron corregidos por los índices estacionales encontrados en el suavizamiento de la serie.

$$\hat{Z}_t = -9085,4 + 0,751Z_{t-1}$$

Donde $\hat{Z}_t = x_t - x_{t-1}$

El coeficiente de retardo es significativo para cualquier nivel de riesgo. No así la constante del modelo.

Tabla 4.16 Estimaciones de los parámetros

		Estimates	Std Error	t	Approx Sig
Retardos no estacionales	AR1	0,751	0,145	5,180	0,000
Constante		-9085,397	9595,741	-0,947	0,357

Se utilizó el algoritmo de Melard para la estimación.

La Tabla 4.26 muestra los resultados obtenidos para el período 1984-1989 obtenidos de aplicar el modelo descrito anteriormente.

Tabla 4.17 Resultados Modelo para LTO nacional (1984-1989)

Año	LTO Nacional
1984	190473
1985	211558
1986	211146
1987	220466
1988	225626
1989	248745

LTO internacional

Este es un modelo final ARIMA (1,d=1,0) , diferenciado una vez del tipo autoregresivo. La variable original y_t fue inicialmente tratada suavizada y transformada en variable de tendencia que incorpora una componente cíclica. Sobre los valores de tendencia denominados x_t se obtuvo la ecuación de ajuste autoregresiva siguiente. Los resultados finales de este modelo fueron corregidos por los índices estacionales encontrados en el suavizamiento de la serie.

$$\hat{Z}_t = -1623,6 + 0,769 Z_{t-1}$$

Donde $\hat{Z}_t = x_t - x_{t-1}$

Ambos coeficientes en el modelo son significativos para cualquier nivel de riesgo

Tabla 4.18 Estimaciones de los parámetros

		Estimates	Std Error	t	Approx Sig
Retardos no estacionales	AR1	0,769	0,141	5,442	0,000
Constante		-1623,605	665,548	-2,440	0,026

Se utilizó el algoritmo de Melard para la estimación.

La Tabla 4.14 muestra los resultados obtenidos para el período 1984-1994 obtenidos de aplicar el modelo descrito anteriormente.

Tabla 4.19 Resultados Modelo para LTO internacional (1984-1989)

Año	LTO Internacional
1984	9070
1985	10633
1986	12617
1987	13840
1988	14631
1989	16285

4.3 Resultados de Emisiones

Con la serie completa 1984-2007 de los consumos aéreo y marítimo, desagregados por consumo nacional e internacional y por tipo de combustible, se aplicó la metodología para el cálculo de emisiones según las directrices del IPCC. Se realizó el cálculo a partir de Tier 1 tanto para aéreo como marítimo, con el objetivo de poder comparar los resultados con los resultados de Poch. Además, se empleó Tier 2a para el sector aéreo.

4.3.1 Sector Aéreo

Con la aproximación Tier 1, basada en el consumo nacional e internacional multiplicado por los factores de emisión por defecto del IPCC 1996, se obtuvieron los siguientes resultados para emisiones de Gases de Efecto Invernadero generados en la serie 1984-2007.

Tabla 4.20 Emisiones de GEI para el consumo nacional de gasolina de aviación y kerosene de aviación

Año	(miles) Ton CO ₂			Ton CH ₄			Ton N ₂ O		
	Gasolina Aviación	Kerosene Aviación	Total	Gasolina Aviación	Kerosene Aviación	Total	Gasolina Aviación	Kerosene Aviación	Total
1984	14,26	322,43	336,69	0,10	2,28	2,38	0,42	9,11	9,53
1985	14,13	352,45	366,58	0,10	2,49	2,59	0,41	9,96	10,37
1986	14,57	339,61	354,18	0,11	2,40	2,51	0,42	9,60	10,02
1987	12,87	353,54	366,41	0,09	2,50	2,59	0,38	9,99	10,36
1988	13,35	369,17	382,52	0,10	2,61	2,70	0,39	10,43	10,82
1989	13,20	414,86	428,06	0,10	2,93	3,03	0,38	11,72	12,11
1990	13,59	415,96	429,55	0,10	2,94	3,04	0,40	11,75	12,15
1991	17,46	549,92	567,38	0,13	3,88	4,01	0,51	15,54	16,05
1992	17,46	563,01	580,47	0,13	3,98	4,10	0,51	15,91	16,42
1993	17,46	585,28	602,74	0,13	4,13	4,26	0,51	16,54	17,05
1994	17,46	649,24	666,70	0,13	4,59	4,71	0,51	18,34	18,85
1995	17,46	634,90	652,37	0,13	4,48	4,61	0,51	17,94	18,45
1996	19,65	635,55	655,20	0,14	4,49	4,63	0,57	17,96	18,53
1997	19,65	735,49	755,13	0,14	5,20	5,34	0,57	20,78	21,35
1998	21,83	1056,70	1078,53	0,16	7,46	7,62	0,64	29,86	30,49
1999	17,46	1085,43	1102,89	0,13	7,67	7,79	0,51	30,67	31,18
2000	15,28	1035,97	1051,25	0,11	7,32	7,43	0,45	29,27	29,72
2001	15,28	1036,63	1051,91	0,11	7,32	7,43	0,45	29,29	29,74
2002	15,28	1175,10	1190,38	0,11	8,30	8,41	0,45	33,20	33,65
2003	10,92	1064,29	1075,21	0,08	7,52	7,60	0,32	30,07	30,39
2004	13,10	1143,15	1156,25	0,10	8,07	8,17	0,38	32,30	32,68
2005	12,83	1043,33	1056,16	0,09	7,37	7,46	0,37	29,48	29,85
2006	13,10	1199,70	1212,80	0,10	8,47	8,57	0,38	33,90	34,28
2007	12,28	1359,52	1371,80	0,09	9,60	9,69	0,36	38,41	38,77

Tabla 4.21 Emisiones de GEI para el consumo internacional de kerosene de aviación

	(miles) Ton CO ₂	Ton CH ₄	Ton N ₂ O
Año	Kerosene Aviación	Kerosene Aviación	Kerosene Aviación
1984	329,08	2,32	9,30
1985	272,79	1,93	7,71
1986	277,37	1,96	7,84
1987	283,50	2,00	8,01
1988	295,64	2,09	8,35
1989	364,92	2,58	10,31
1990	331,29	2,34	9,36
1991	308,21	2,18	8,71
1992	439,41	3,10	12,42
1993	553,84	3,91	15,65
1994	441,78	3,12	12,48
1995	628,25	4,44	17,75
1996	723,80	5,11	20,45
1997	983,31	6,95	27,78
1998	950,68	6,72	26,86
1999	785,25	5,55	22,19
2000	654,99	4,63	18,51
2001	874,55	6,18	24,71
2002	738,61	5,22	20,87
2003	573,50	4,05	16,20
2004	654,13	4,62	18,48
2005	883,69	6,24	24,97
2006	852,85	6,02	24,10
2007	934,36	6,60	26,40

Los resultados de emisiones para otros contaminantes locales (NO_x, NMVOC, CO, SO₂) se encuentran en el Anexo B.

La Figura 4.4 indica la distribución de CO_{2e} para las emisiones generadas por la actividad nacional y por la actividad internacional. Se aprecia que las emisiones nacionales se ven claramente disminuidas bajo esta metodología en comparación a considerar todo el combustible aéreo del BNE como nacional. Para la serie 1984-2007, el consumo nacional promedió un 57% respecto de la suma total de emisiones por año, donde los máximos porcentajes ocurrieron en el año 1991 y 2003 con un 65% de las emisiones de CO_{2e} para la actividad nacional.

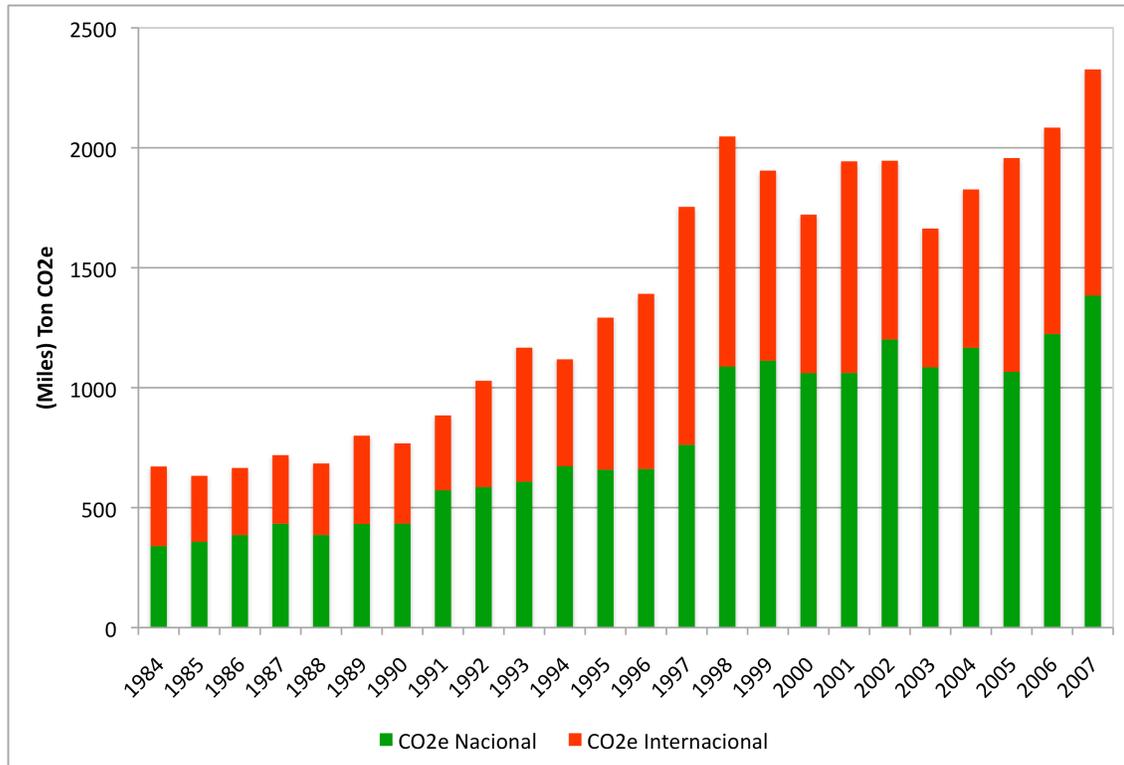


Figura 4.4 CO₂e para actividad aérea nacional y internacional

La aproximación Tier 2a para el sector aéreo se realizó para el combustible kerosene de aviación. Para este cálculo se utilizaron los resultados de la Tabla 4.2, que separan los consumo por etapa de vuelo, los cuales se multiplicaron por los factores de emisión de la Tabla 3.6, obteniéndose los resultados de emisiones para CO₂, CH₄ y N₂O, señalados en la Tabla 4.22, Tabla 4.23 y Tabla 4.24 , respectivamente.

Tabla 4.22 Emisiones de CO₂ por etapa de vuelo

Año	kerosene de aviación nacional		kerosene de aviación internacional	
	LTO (miles) Ton	Crucero (miles) Ton	LTO (miles) Ton	Crucero (miles) Ton
1984	188,87	137,40	71,65	260,26
1985	209,78	146,90	84,00	191,22
1986	209,37	134,36	99,67	180,21
1987	218,61	139,22	109,33	176,76
1988	223,73	149,90	115,58	182,77
1989	246,65	173,18	128,65	239,58
1990	256,37	164,64	132,93	201,40
1991	249,10	306,88	153,48	157,66
1992	250,54	318,65	173,90	269,55
1993	305,55	286,45	191,02	367,81
1994	322,16	334,42	232,39	213,63
1995	362,28	280,13	251,75	382,28
1996	444,85	198,77	256,07	474,29
1997	428,15	316,09	294,83	697,23
1998	411,45	656,45	333,59	625,69
1999	377,79	718,83	313,25	479,22
2000	410,23	636,76	287,04	374,05
2001	418,86	628,85	297,82	584,62
2002	405,26	781,94	305,07	440,37
2003	392,71	682,71	300,20	278,81
2004	365,55	789,17	306,93	353,36
2005	386,13	668,12	313,43	578,28
2006	356,33	855,33	325,17	535,49
2007	355,50	1017,2	373,85	569,11

Tabla 4.23 Emisiones de CH₄ por etapa de vuelo

Año	kerosene de aviación nacional		kerosene de aviación internacional	
	LTO (Ton)	Crucero (Ton)*	LTO (Ton)	Crucero (Ton)*
1984	21,143	0	13,605	0
1985	23,483	0	15,950	0
1986	23,437	0	18,926	0
1987	24,472	0	20,760	0
1988	25,044	0	21,947	0
1989	27,611	0	24,428	0
1990	28,698	0	25,241	0
1991	27,885	0	29,144	0
1992	28,046	0	33,020	0
1993	34,204	0	36,272	0
1994	36,063	0	44,126	0
1995	40,554	0	47,802	0
1996	49,798	0	48,621	0
1997	47,928	0	55,981	0
1998	46,058	0	63,341	0
1999	42,290	0	59,480	0
2000	45,922	0	54,503	0
2001	46,888	0	56,549	0
2002	45,365	0	57,926	0
2003	43,961	0	57,000	0
2004	40,921	0	58,280	0
2005	43,225	0	59,513	0
2006	39,888	0	61,742	0
2007	39,796	0	70,986	0

*La aproximación Tier 2a no considera emisiones de CH₄ en la etapa crucero.

Tabla 4.24 Emisiones de N₂O por etapa de vuelo

Año	kerosene de aviación nacional		kerosene de aviación internacional	
	LTO (Ton)	Crucero (Ton)	LTO (Ton)	Crucero (Ton)
1984	7,048	4,362	1,814	8,262
1985	7,828	4,664	2,127	6,071
1986	7,812	4,266	2,523	5,721
1987	8,157	4,420	2,768	5,611
1988	8,348	4,759	2,926	5,802
1989	9,204	5,498	3,257	7,606
1990	9,566	5,227	3,365	6,394
1991	9,295	9,742	3,886	5,005
1992	9,349	10,116	4,403	8,557
1993	11,401	9,094	4,836	11,677
1994	12,021	10,617	5,883	6,782
1995	13,518	8,893	6,374	12,136
1996	16,599	6,310	6,483	15,057
1997	15,976	10,035	7,464	22,134
1998	15,353	20,840	8,445	19,863
1999	14,097	22,820	7,931	15,214
2000	15,307	20,215	7,267	11,875
2001	15,629	19,964	7,540	18,560
2002	15,122	24,824	7,723	13,980
2003	14,654	21,673	7,600	8,851
2004	13,640	25,053	7,771	11,218
2005	14,408	21,210	7,935	18,358
2006	13,296	27,153	8,232	17,000
2007	13,265	32,294	9,465	18,067

Tal como lo indica la guía del IPCC para el cálculo de emisiones para el sector aéreo, los resultados para CO₂ no varían más de un 1% entre el método Tier 1 y Tier 2. Sin embargo, para los contaminantes N₂O y CH₄ si se apreciaron diferencias, donde la diferencia entre Tier 2a y Tier 1 respecto de Tier 2a fue en promedio para la serie nacional 1984-2007, de un 19% y 86%, respectivamente. Para el caso internacional, las diferencias para N₂O y CH₄ fueron de 4% y 90% , respectivamente. A modo de ilustración, la Figura 4.5 muestra la distribución de las emisiones de N₂O nacional, para ambos métodos, donde se aprecian las diferencias descritas anteriormente.

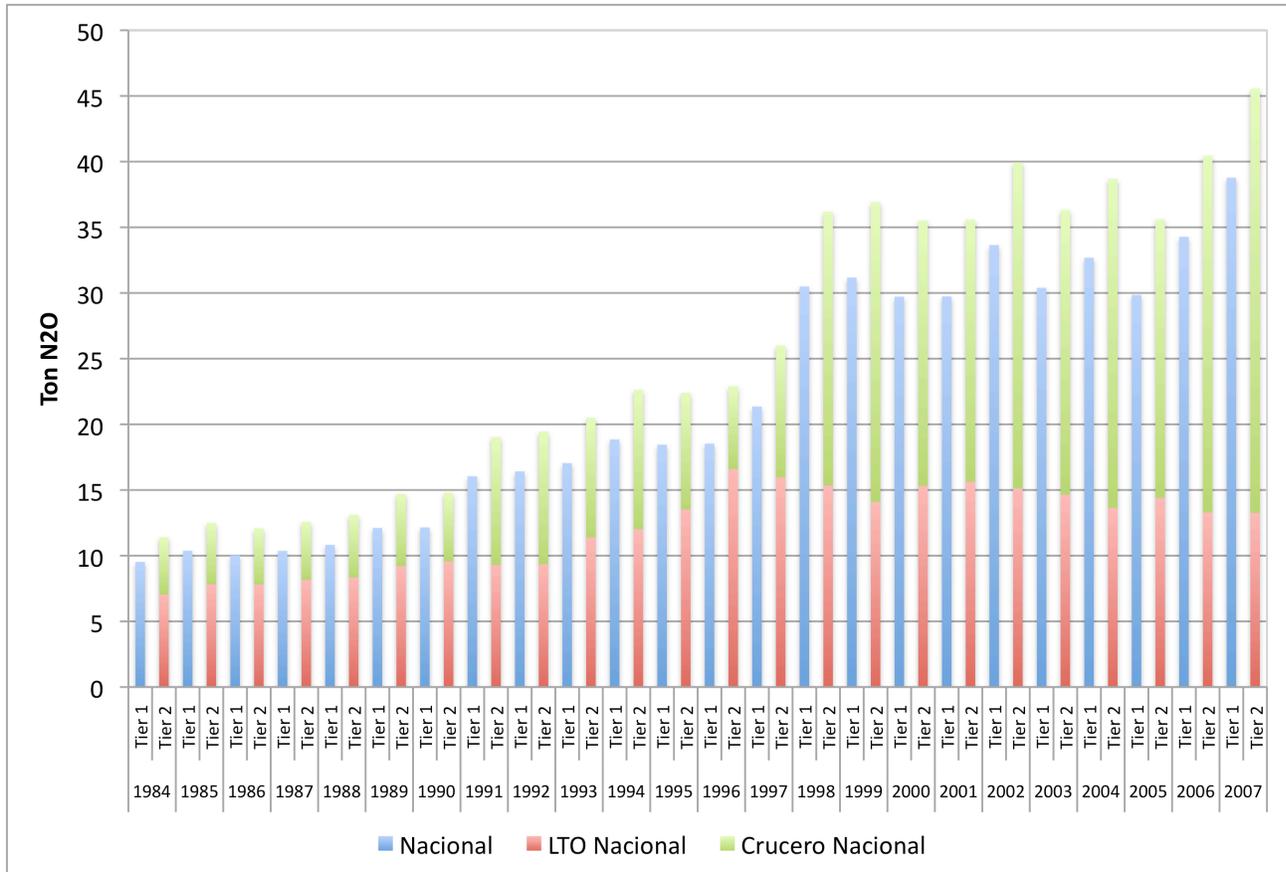


Figura 4.5 N₂O calculado por Tier 1 y Tier 2a, consumo nacional de kerosene de aviación

La Figura 4.6 y Figura 4.7 muestran las emisiones de CO_{2e} para los dos métodos empleados en el consumo nacional e internacional, respectivamente. Si bien existieron diferencias en los valores de CH₄ y N₂O para Tier 1 y 2a, estas no produjeron un efecto notorio en las emisiones totales de CO_{2e}. Luego, si se requiere conocer el inventario generalizado de CO_{2e}, la aproximación Tier 1 representa resultados globales representativos de la situación que se esté estudiando. Las diferencias para la serie 1984-2007 de los valores de CO_{2e} totales fueron, en promedio respecto al método Tier 1, de 2% y 1% para las emisiones nacionales e internacionales, respectivamente.

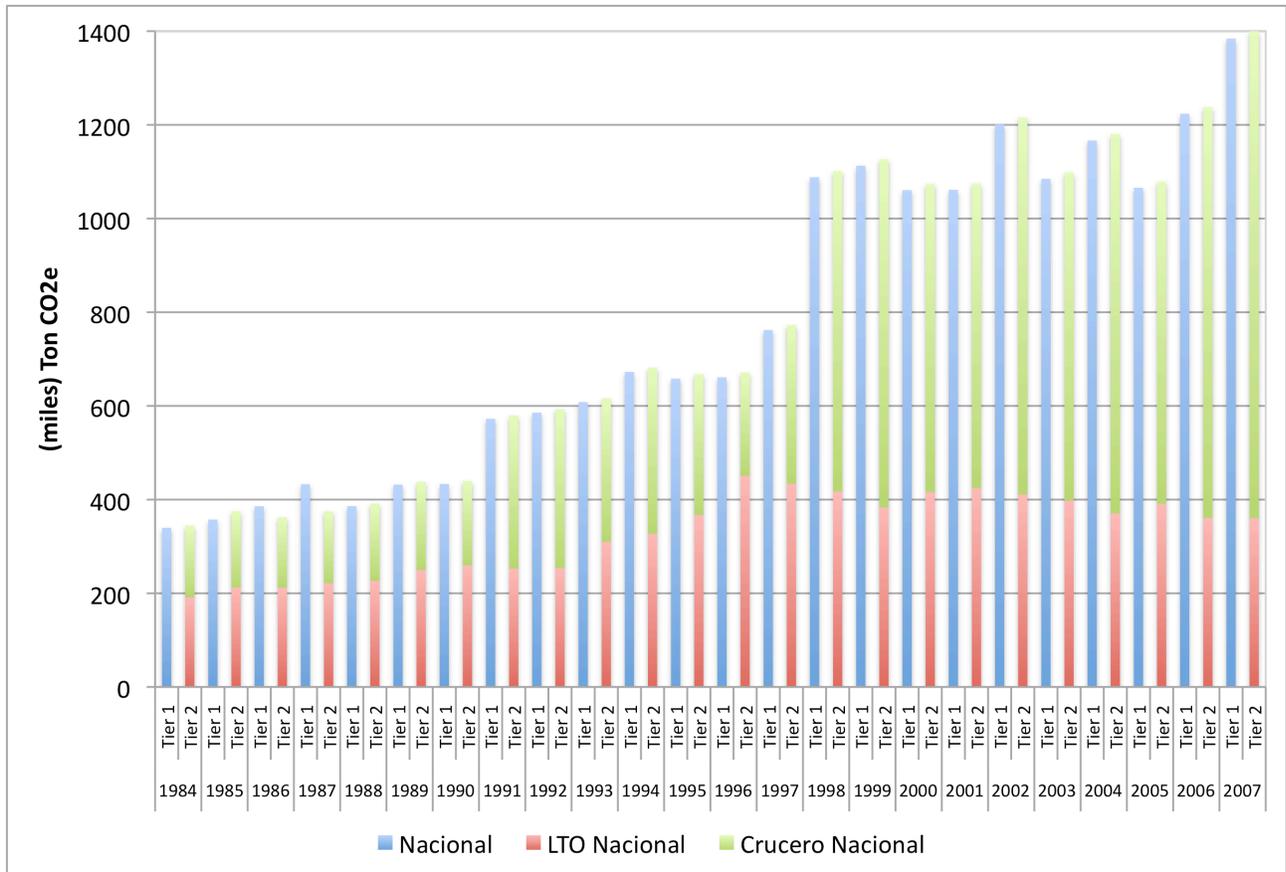


Figura 4.6 CO₂e calculado por Tier 1 y Tier 2a, consumo nacional aéreo

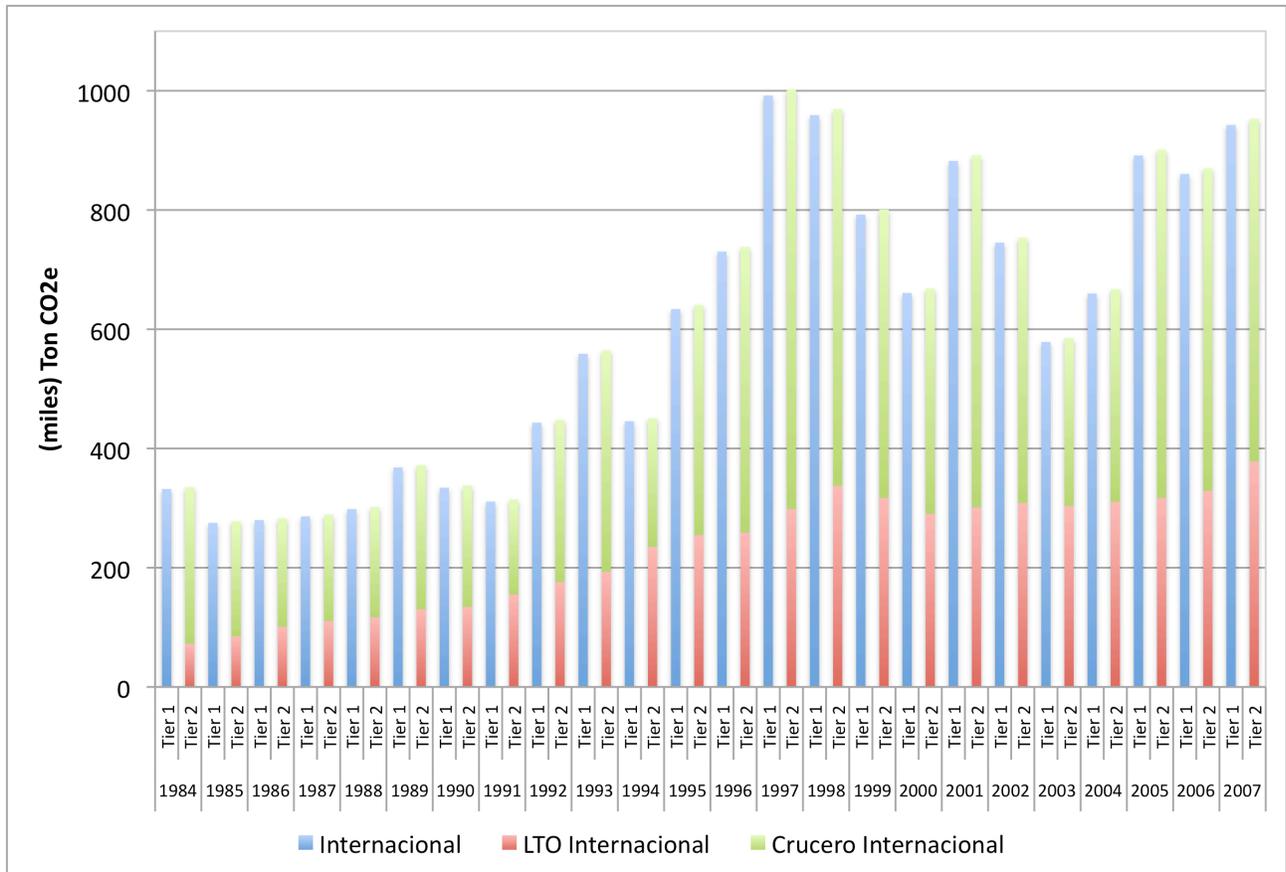


Figura 4.7 CO₂e calculado por Tier 1 y Tier 2a, consumo internacional aéreo

4.3.2 Sector Marítimo

Con la aproximación Tier 1, basada en el consumo nacional e internacional multiplicado por los factores de emisión por defecto del IPCC 1996, se obtuvieron los siguientes resultados para emisiones de Gases de Efecto Invernadero generados en la serie 1984-2007.

Tabla 4.25 Emisiones de GEI para el consumo nacional sector marítimo

Año	(miles) Ton CO ₂			Ton CH ₄			Ton N ₂ O		
	P. Diesel	P. Combustible	Total	P. Diesel	P. Combustible	Total	P. Diesel	P. Combustible	Total
1984	389,48	28,48	417,95	26,56	1,86	28,42	3,19	0,22	3,41
1985	438,56	74,26	512,82	29,90	4,85	34,75	3,59	0,58	4,17
1986	418,50	70,30	488,80	28,54	4,59	33,13	3,42	0,55	3,98
1987	356,91	119,92	476,83	24,34	7,83	32,17	2,92	0,94	3,86
1988	333,60	56,36	389,96	22,75	3,68	26,43	2,73	0,44	3,17
1989	369,13	125,15	494,28	25,17	8,17	33,34	3,02	0,98	4,00
1990	343,01	103,43	446,44	23,39	6,75	30,14	2,81	0,81	3,62
1991	283,05	43,55	326,60	19,30	2,84	22,14	2,32	0,34	2,66
1992	251,56	88,81	340,37	17,15	5,80	22,95	2,06	0,70	2,75
1993	238,17	163,15	401,32	16,24	10,65	26,89	1,95	1,28	3,23
1994	235,08	26,73	261,82	16,03	1,75	17,78	1,92	0,21	2,13
1995	223,12	106,02	329,15	15,21	6,92	22,14	1,83	0,83	2,66
1996	271,13	28,61	299,73	18,49	1,87	20,36	2,22	0,22	2,44
1997	262,30	46,90	309,21	17,89	3,06	20,95	2,15	0,37	2,51
1998	239,71	170,10	409,80	16,35	11,10	27,45	1,96	1,33	3,29
1999	183,75	108,39	292,13	12,53	7,08	19,60	1,50	0,85	2,35
2000	144,97	146,47	291,44	9,89	9,56	19,45	1,19	1,15	2,33
2001	148,20	12,02	160,22	10,11	0,78	10,89	1,21	0,09	1,31
2002	139,58	51,20	190,77	9,52	3,34	12,86	1,14	0,40	1,54
2003	115,41	57,50	172,91	7,87	3,75	11,62	0,94	0,45	1,39
2004	130,61	52,11	182,72	8,91	3,40	12,31	1,07	0,41	1,48
2005	218,70	271,21	489,91	14,91	17,70	32,62	1,79	2,12	3,91
2006	128,18	251,20	379,38	8,74	16,40	25,14	1,05	1,97	3,02
2007	110,89	426,55	537,44	7,56	27,85	35,41	0,91	3,34	4,25

Tabla 4.26 Emisiones de GEI para el consumo internacional sector marítimo

Año	(miles) Ton CO ₂			Ton CH ₄			Ton N ₂ O		
	P. Diesel	P. Combustible	Total	P. Diesel	P. Combustible	Total	P. Diesel	P. Combustible	Total
1984	72,15	432,11	504,25	4,92	28,21	33,13	0,59	3,38	3,98
1985	64,35	431,57	495,92	4,39	28,17	32,56	0,53	3,38	3,91
1986	78,05	452,61	530,65	5,32	29,55	34,87	0,64	3,55	4,18
1987	78,22	469,01	547,23	5,33	30,62	35,95	0,64	3,67	4,31
1988	75,63	493,17	568,80	5,16	32,19	37,35	0,62	3,86	4,48
1989	66,93	478,74	545,66	4,56	31,25	35,82	0,55	3,75	4,30
1990	80,34	502,83	583,17	5,48	32,82	38,30	0,66	3,94	4,60
1991	102,25	521,55	623,79	6,97	34,05	41,02	0,84	4,09	4,92
1992	64,03	570,90	634,93	4,37	37,27	41,63	0,52	4,47	5,00
1993	56,48	711,40	767,88	3,85	46,44	50,29	0,46	5,57	6,04
1994	79,12	713,85	792,97	5,40	46,60	52,00	0,65	5,59	6,24
1995	101,27	749,27	850,55	6,91	48,91	55,82	0,83	5,87	6,70
1996	102,12	816,64	918,76	6,96	53,31	60,27	0,84	6,40	7,23
1997	131,67	1080,09	1211,77	8,98	70,51	79,49	1,08	8,46	9,54
1998	111,91	1184,01	1295,92	7,63	77,29	84,92	0,92	9,28	10,19
1999	110,95	1317,35	1428,30	7,57	86,00	93,56	0,91	10,32	11,23
2000	133,01	1487,22	1620,23	9,07	97,09	106,16	1,09	11,65	12,74
2001	141,41	1602,24	1743,66	9,64	104,59	114,24	1,16	12,55	13,71
2002	169,32	1835,46	2004,77	11,55	119,82	131,36	1,39	14,38	15,76
2003	170,37	1836,16	2006,53	11,62	119,86	131,48	1,39	14,38	15,78
2004	157,15	2209,28	2366,43	10,72	144,22	154,94	1,29	17,31	18,59
2005	117,56	3084,24	3201,80	8,02	201,34	209,36	0,96	24,16	25,12
2006	158,00	3408,38	3566,38	10,77	222,50	233,27	1,29	26,70	27,99
2007	126,67	3687,71	3814,38	8,64	240,73	249,37	1,04	28,89	29,92

Los resultados de emisiones para otros contaminantes locales (NO_x, NMVOC, CO, SO₂) están en el Anexo C.

La Figura 4.8 indica la distribución de CO_{2e} para las emisiones generadas por la actividad nacional y por la actividad internacional. Nuevamente se aprecia que las emisiones nacionales se ven claramente disminuidas bajo esta metodología en comparación a considerar todo el combustible marítimo del BNE como nacional.

Se aprecia el importante aporte de las emisiones internacionales respecto del global, representando para la serie 1984-2007 un promedio de 73% respecto del total global. Esto confirma lo importante de separar los consumos para no sobreestimar los inventarios de emisiones nacionales, que particularmente para el caso marítimo eran elevados para un país como Chile.

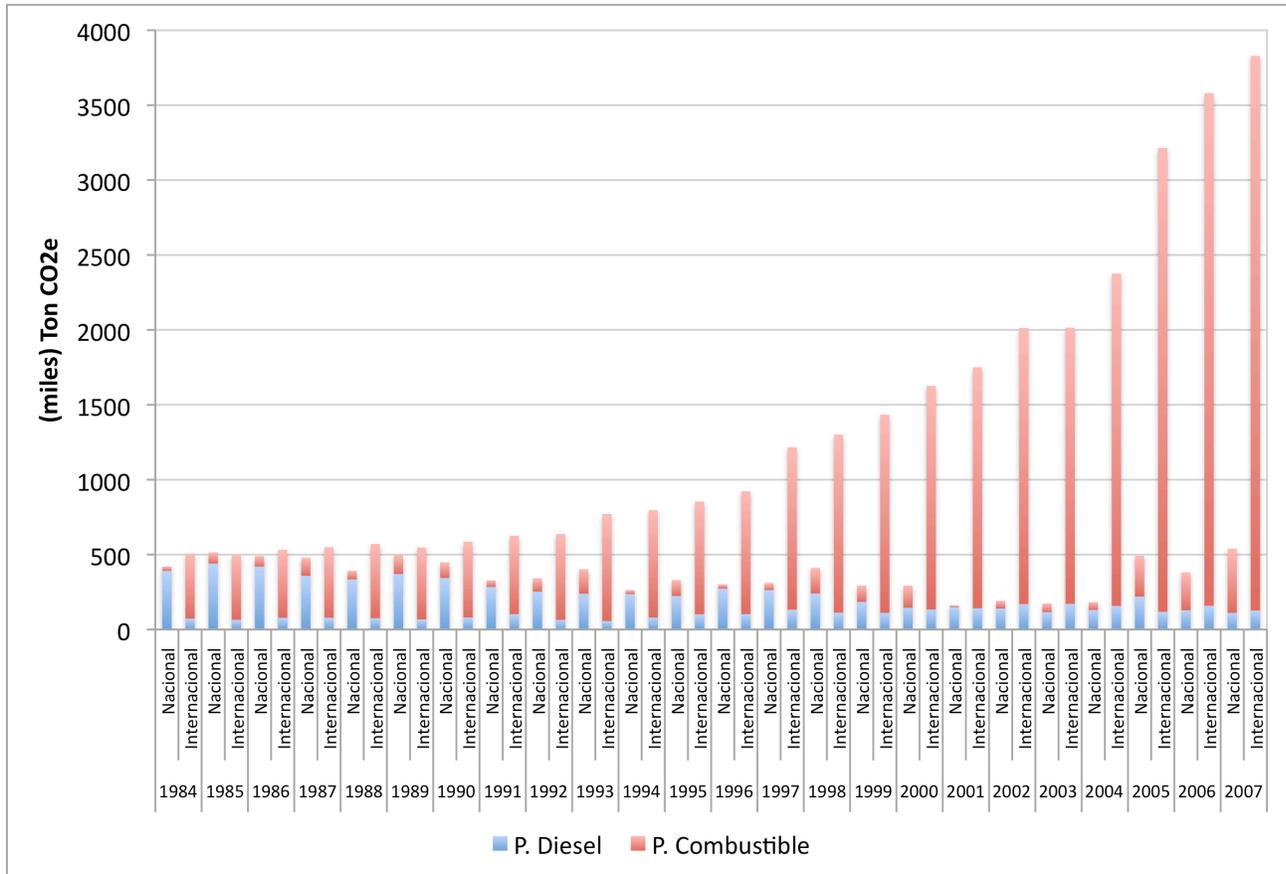


Figura 4.8 CO₂e para actividad marítima nacional e internacional

4.3.3 Comparación de Resultados con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero 2008

Considerando los resultados obtenidos en el presente estudio se realizó una comparación con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero, realizado por Poch Ambiental S.A. en conjunto con DEUMAN Ingenieros en el año 2008, el inventario fue solicitado por la Comisión Nacional del Medioambiente (CONAMA) y por el Programa para el Desarrollo de Naciones Unidas (PNUD).

La comparación se realizó utilizando la herramienta desarrollada para elaborar el Inventario de Emisiones GEI (Herramienta_final_Sector_Energía_v7.xls). Los resultados del Inventario GEI se obtuvieron directamente de la herramienta mientras que los resultados nacionales se obtuvieron reemplazando los consumos domésticos obtenidos en este estudio en la misma herramienta.

Los resultados obtenidos para ambos casos se grafican en las Figura 4.9 y Figura 4.10 a continuación.

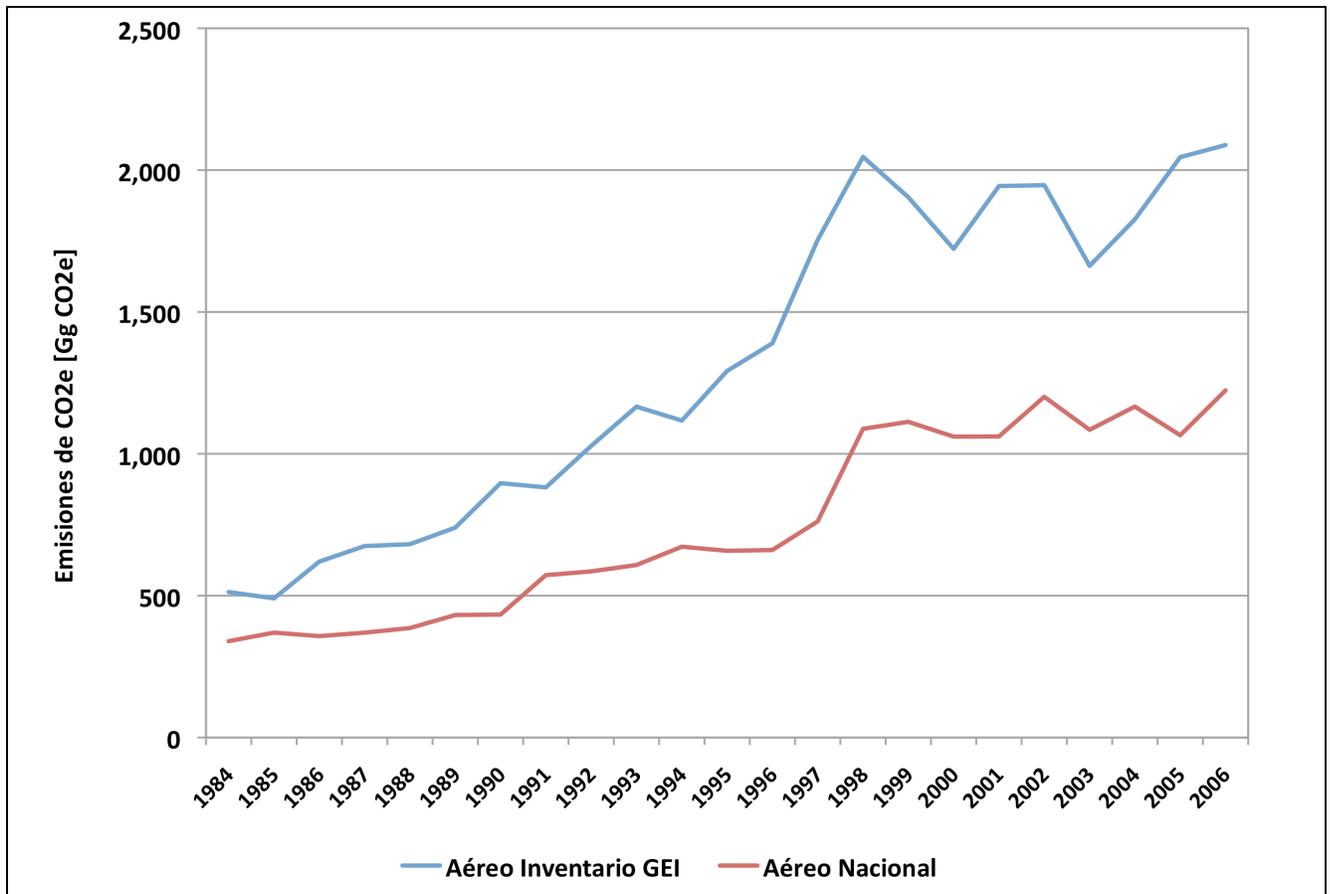


Figura 4.9 Comparación de emisiones de CO₂e entre el Inventario de Gases Efecto Invernadero 2008 y la operación Nacional para el Sector Aéreo.

Los resultados del **Sector Aéreo Nacional** obtenidos en el presente estudio, corresponden en promedio a un 58% de las emisiones declaradas en el Inventario de GEI en el periodo 1984 al 2006. Esta tendencia se mantiene estable durante todo el período, alcanzando un mínimo de 43% en el año 1997 y un máximo de un 75% en el año 1985 (Tabla 4.27).

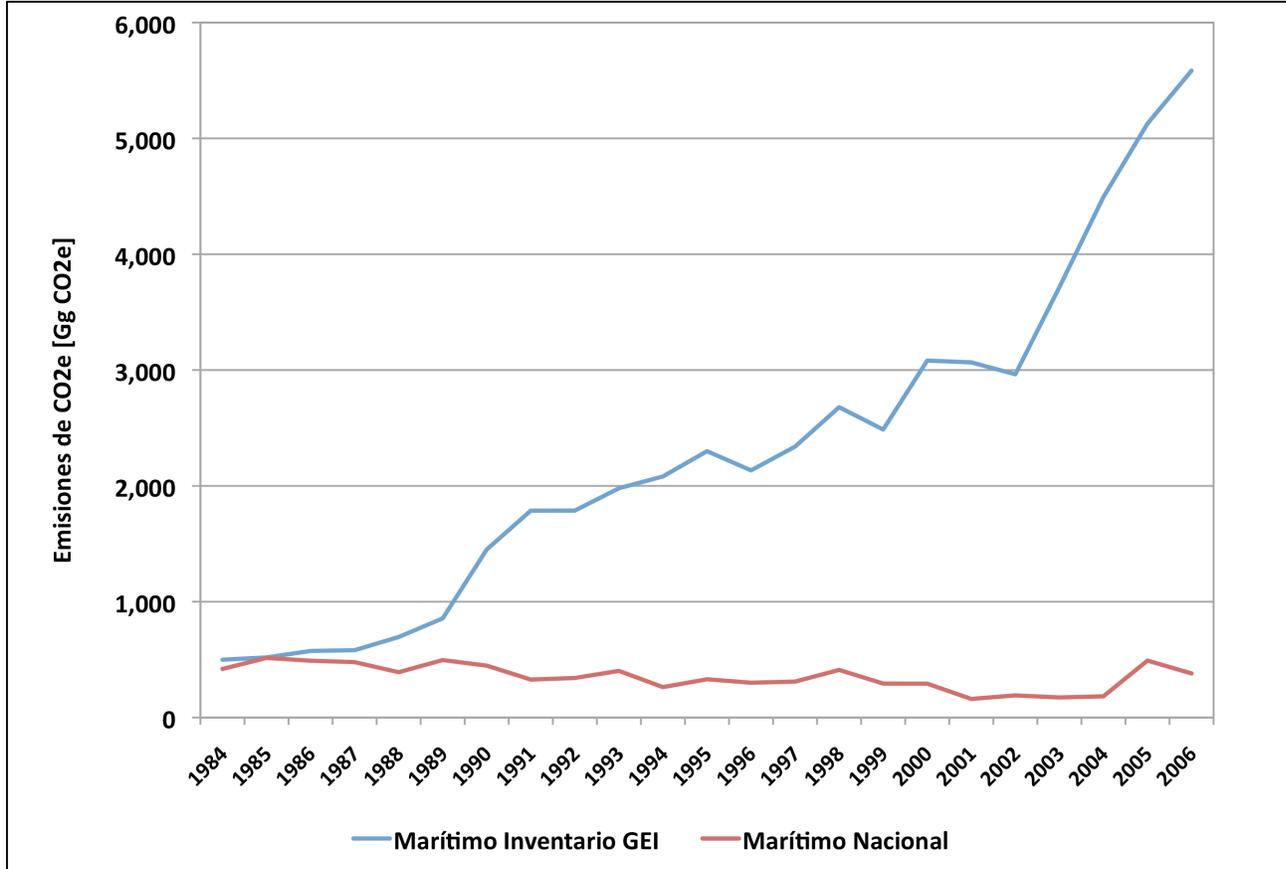


Figura 4.10 Comparación de emisiones de CO₂e entre el Inventario de Gases Efecto Invernadero 2008 y la operación Nacional para el Sector Marítimo.

En el caso del **Sector Marítimo Nacional**, los resultados obtenidos corresponden en promedio a un 30% de las declaradas en el Inventario de GEI 2008. Sin embargo, entre los años 2000 y 2006, las emisiones nacionales disminuyen considerablemente, alcanzando sólo el 7% del total. Las emisiones marítimas nacionales están entre un mínimo de un 4% del total para el año 2004 y un máximo de un 99% para el año 1985 (Tabla 4.27).

Los resultados año a año para ambos inventarios se presentan en la Tabla 4.27. Al comparar los dos resultados promedios para la serie 1984-2006, se observa que para el Inventario GEI 2008 las emisiones del sector aéreo son un 58% de las emisiones del sector marítimo, en cambio para el los resultados presentados en este estudio esta tendencia se cambia, siendo ahora las emisiones *marítimas nacionales* menores a las *aéreas nacionales*, donde el sector marítimo nacional es un 47% de las emisiones aéreas nacionales.

Al agregar de ambos sectores para cada inventario (columna Total de Tabla 4.27) se observa que en promedio para el periodo 1984 – 2006 se produce una reducción de las emisiones de GEI de un 61% correspondiente a 2515 Gg de CO₂e por año.

Si se consideran solo los últimos 5 años la reducción alcanza un 77% que corresponde a un promedio de 4859 de Gg de CO₂e por año.

Tabla 4.27 Emisiones de CO₂e para los sectores Aéreo y Marítimo según el Inventario de GEI 2008 y Nacional (periodo 1984-2006)

Año	Aéreo			Marítimo			Total		
	Inventario GEI	Nacional	%	Inventario GEI	Nacional	%	Inventario GEI	Nacional	%
1984	513	340	66%	499	420	84%	1,012	759	75%
1985	491	370	75%	519	515	99%	1,010	885	88%
1986	620	357	58%	575	491	85%	1,195	848	71%
1987	675	370	55%	582	479	82%	1,257	848	68%
1988	681	386	57%	695	392	56%	1,377	777	56%
1989	740	432	58%	856	496	58%	1,596	928	58%
1990	896	433	48%	1,451	448	31%	2,348	882	38%
1991	882	572	65%	1,786	328	18%	2,668	900	34%
1992	1,028	586	57%	1,787	342	19%	2,815	927	33%
1993	1,166	608	52%	1,980	403	20%	3,146	1,011	32%
1994	1,117	673	60%	2,082	263	13%	3,199	935	29%
1995	1,292	658	51%	2,300	330	14%	3,592	989	28%
1996	1,390	661	48%	2,134	301	14%	3,524	962	27%
1997	1,754	762	43%	2,339	310	13%	4,093	1,072	26%
1998	2,047	1,088	53%	2,679	411	15%	4,726	1,500	32%
1999	1,904	1,113	58%	2,487	293	12%	4,391	1,406	32%
2000	1,723	1,061	62%	3,082	293	9%	4,804	1,353	28%
2001	1,944	1,061	55%	3,066	161	5%	5,010	1,222	24%
2002	1,947	1,201	62%	2,964	192	6%	4,911	1,393	28%
2003	1,662	1,085	65%	3,716	174	5%	5,378	1,258	23%
2004	1,827	1,167	64%	4,494	183	4%	6,321	1,350	21%
2005	2,046	1,066	52%	5,127	492	10%	7,173	1,557	22%
2006	2,088	1,224	59%	5,584	381	7%	7,673	1,604	21%
Promedio	1,323	751	58%	2,295	352	30%	3,618	1,103	39%

Los % corresponden al valor Nacional respecto al total del Inventario GEI

5 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

El presente estudio propone una metodología para separar las emisiones totales reportadas en el BNE en emisiones nacionales e internacionales (BUNKER). La metodología corresponde a obtener información de Aduanas que es la entidad encargada de devolver el Impuesto al Valor Agregado (I.V.A.) en el caso que el combustible adquirido en el país sea. Cabe destacar que se considera exportación cuando una aeronave o una embarcación dedicada al transporte realiza un viaje al extranjero. Este tipo de aproximación esta avalado por la guía de buenas practicas del IPCC. Además, esta metodología contempló la regresión de los datos relevantes de consumo para poder completar el inventario de emisiones para la serie 1984-2007.

Utilizando la metodología propuesta en el presente estudio se dividieron las emisiones en nacionales e internacionales para los sectores aéreo y marítimo en el periodo 1984-2007. El principal resultado se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 5.1 Distribución de emisiones Nacional e Internacional para los sectores aéreo y marítimo.

Año	Aéreo		Marítimo	
	Nacional	Internacional	Nacional	Internacional
1984	51%	49%	45%	55%
1985	57%	43%	51%	49%
1986	56%	44%	48%	52%
1987	56%	44%	47%	53%
1988	56%	44%	41%	59%
1989	54%	46%	47%	53%
1990	56%	44%	43%	57%
1991	65%	35%	34%	66%
1992	57%	43%	35%	65%
1993	52%	48%	34%	66%
1994	60%	40%	25%	75%
1995	51%	49%	28%	72%
1996	48%	52%	25%	75%
1997	43%	57%	20%	80%
1998	53%	47%	24%	76%
1999	58%	42%	17%	83%
2000	62%	38%	15%	85%
2001	55%	45%	8%	92%
2002	62%	38%	9%	91%
2003	65%	35%	8%	92%
2004	64%	36%	7%	93%
2005	54%	46%	13%	87%
2006	59%	41%	10%	90%
2007	59%	41%	12%	88%

* Tier 1

Los resultados de emisiones de CO₂e para ambos sectores en valor absoluto se muestran en las figuras siguientes.

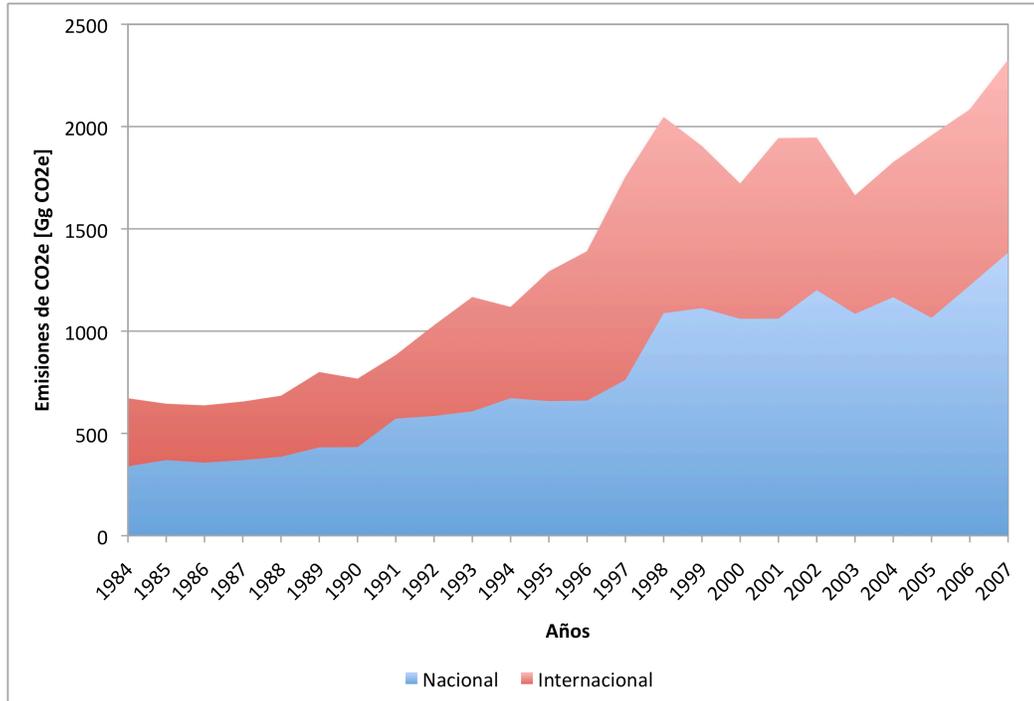


Figura 5.1 Emisiones de CO₂e para el sector aéreo

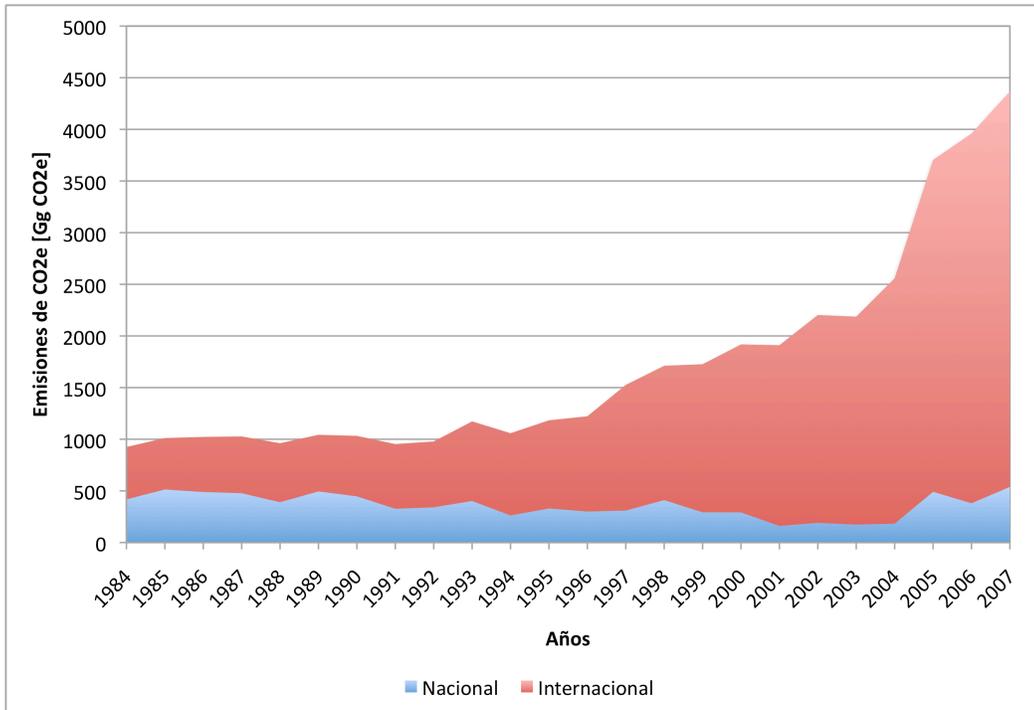


Figura 5.2 Emisiones de CO₂e para el sector marítimo

En conclusión, en el presente estudio se llevaron a cabo con éxito las siguientes actividades:

- Se desarrolló una metodología para desagregar las emisiones de los sectores aéreos y marítimos en nacionales e internacionales.
- Se desarrolló una regresión de los consumos para estimar las emisiones en el período 1984-1990, considerando diferentes variables de actividad.
- Se obtuvieron las emisiones nacionales e internacionales para Gases Efecto Invernadero para los sectores aéreo y marítimo utilizando la aproximación Tier 1, en el caso aéreo se realizó además el cálculo con Tier 2a.
- Se compararon las emisiones obtenidas por este estudio con el Inventario Nacional de Emisiones de GEI.
- Se Ingreso la información obtenida en este estudio en la Herramienta_final_Sector_Energía_v7.xls desarrollada junto con el Inventario GEI (Incluido en forma digital).
- Se completaron las hojas de trabajo indicadas en las Directrices del IPCC (Incluido en forma digital).

Finalmente, considerando la experiencia adquirida en el desarrollo de este estudio, se proponen las siguientes recomendaciones para continuar con este desarrollo metodológico en el futuro:

- **Aduana:** Es de máxima prioridad firmar un acuerdo entre Aduana y la CNE para incluir la información de Aduana en el Balance Nacional de Energía. Específicamente la información relacionada con la exportación de combustibles. Aduana posee una información muy detallada de las empresas que realizan este tipo de actividades.
- **Pesca:** Es importante que el BNE incluya los consumos por pesca, es decir que se pregunte formalmente por los consumos destinados al sector de manera de diferenciarlos del transporte. Las empresas distribuidoras de combustible consideran el Sector pesca como industrial por lo que hacer la diferenciación es factible.
- **LTO:** Para la aplicación de mayores Tier es necesario obtener una mejor información de los LTO para vuelos nacionales. Actualmente la DGAC publica el número total de LTO's del país, este número incluye aviones de todo tipo por lo cual no puede ser utilizado directamente. La DGAC posee información de LTO's por tipo de avión que puede ser utilizada para realizar un mejor cálculo de las emisiones de GEI. Se sugiere firmar un acuerdo con la DGAC para obtener el detalle de la información de LTO's anuales por tipo de avión con el objetivo de estimar las emisiones con metodologías de Tier más altos.

Anexo A.

Metodología para Completar la Serie 1990-2008 de P. Diesel y P. Combustible de la Actividad Pesquera

La escasez de datos de la actividad pesquera dificulta trabajar con modelos de predicción tradicionales (Serie de tiempos y Regresión Lineal), por lo tanto se optó por una metodología alternativa para el cálculo de los pronósticos. La metodología de estimación es la misma para ambos tipo de combustible.

En la primera etapa se calculo la variación relativa por año y el promedio. Este indicador sirve para determinar la tendencia y la variación anual a pronosticar. El promedio en la variación relativa es de 0,99 para el petróleo diesel, esto significa que los consumos en petróleo diesel para pesca disminuyen para los años posteriores al 2004.

Variación relativa: h_t

Promedio Variación relativa: $P h_t$

P. Diesel Pesca (o P. Combustible): P_t

Año: t

Formula variación relativa:

$$h_t = \frac{P_t}{P_{t+1}}$$

Tabla A.1. Variación Relativa del Petróleo Diesel Pesca

Año	P. Diesel Pesca (P_t)	Variación relativa (h_t)
2004	246372000	1.052
2005	234183600	1.018
2006	230118000	0.899
2007	255998400	0.992
2008	258073200	
Promedio variación relativa		0.990

Tabla A.2. Variación Relativa del Petróleo Combustible Pesca

Año	P. Combustible Pesca (P_t)	Variación relativa (h_t)
2004	126752940	0.927
2005	136698390	1.130
2006	120990600	0.743
2007	162750150	0.955
2008	170355780	
Promedio Variación Relativa		0.939

La siguiente tabla muestra el promedio de variación porcentual entre el consumo nacional y pesca. Este valor porcentual capta la estacionalidad (forma) de la serie.

P. Diesel Nacional (P. Combustible Nacional): PN_t

Variación Porcentual: VP_t

Promedio Variación Porcentual: PVP_t

Formula Variación Porcentual:

$$VP_t = \frac{P_t * 100}{PN_t}$$

Tabla A.3. Variación Porcentual para el Petróleo Diesel Pesca

Año	P. Diesel Pesca (P_t)	P. Diesel Nacional (PN_t)	Variación Porcentual (VP_t)
2004	246372000	287458274	85.7%
2005	234183600	302977951	77.3%
2006	230118000	270438879	85.1%
2007	255998400	290879496	88.0%
Promedio variación porcentual			84.0%

Tabla A.4. Variación Porcentual para el Petróleo Combustible Pesca

Año	Combustible Pesca (P_t)	P. Diesel Nacional (PN_t)	Variación Porcentual (VP_t)
2004	126752940	143042506	88.6%
2005	136698390	221484714	61.7%
2006	120990600	199521832	60.6%
2007	162750150	296099052	55.0%
Promedio Variación Relativa			66.5%

La estimación del consumo pesca entre los años 1991 y 2003 se calculan mediante la fórmula que se presenta a continuación. Esta tiene como finalidad integrar la tendencia de consumos de pesca y la estacionalidad de la serie.

Pronóstico Petróleo Diesel Pesca (P. Combustible Pesca): EP_t

$$EP_t = \frac{PN_t * PVP_t * Ph_t^{2004-t}}{100}$$

Consumo Transporte Nacional : CN_t

$$CN_t = PN_t - P_t$$

Tabla A.5. Pronóstico Petróleo Diesel Pesca 1991 – 2003

Año	P. Diesel Pesca (P_t)	P. Diesel Nacional (PN_t)	P. Diesel (Nac-Pesca) (CN_t)
1991	251759587	340796880	89037293
1992	232526039	311659088	79133049
1993	229034351	303953700	74919350
1994	235482266	309430863	73948597
1995	233116058	303302662	70186604
1996	295869990	381156700	85286710
1997	299429346	381940413	82511066
1998	286714175	362117093	75402918
1999	230698897	288498785	57799888
2000	191436351	237039918	45603567
2001	206259068	252876657	46617589
2002	205232523	249138292	43905770
2003	179744033	216046577	36302545

Tabla A.6. Pronóstico Petróleo Combustible Pesca 1991 – 2003

Año	Combustible Pesca (P_t)	Combustible Nacional (PN_t)	Combustible (Nac.-Pesca) (CN_t)
1991	5647317	19262531.8	13615214
1992	12604268	40367868.4	27763601
1993	25410176	76413991.3	51003816
1994	4582989	12940797.9	8357809
1995	20071740	53216252.3	33144512
1996	6004025	14946818.5	8942794
1997	10963106	25626360.4	14663254
1998	44504478	97679640	53175162
1999	31940524	65824777.3	33884253
2000	48967801	94755622.3	45787821
2001	4599869	8357701.5	3757833
2002	22669068	38674268.1	16005200
2003	29866137	47842570.8	17976434

Gráfico A.1. Petróleo Diesel Pesca, Transporte y Nacional

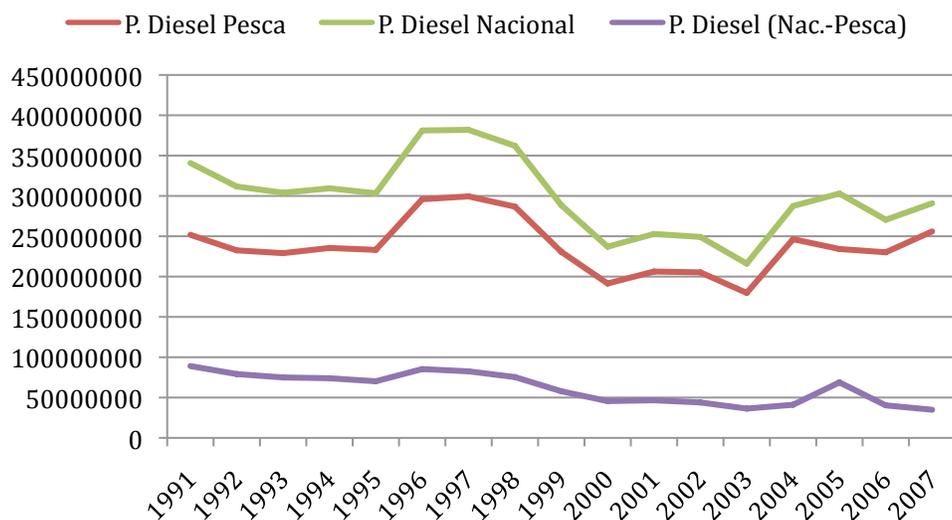
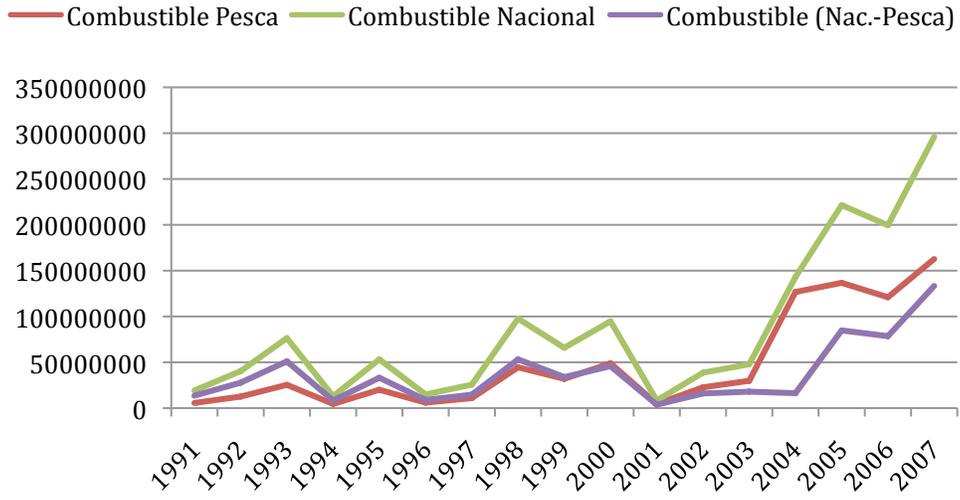


Gráfico A.2. Petróleo Combustible Pesca, Transporte y Nacional



Anexo B.

Emisiones de Contaminantes Locales para el Transporte Aéreo, Serie 1984-2007

TIER 1

Tabla B.1 Tier 1: Emisiones de Contaminantes Locales, Transporte Aéreo Nacional

Año	Emisiones Nacionales (Ton)		
	NOx	CO	NMCOV
1984	1428,88	476,29	238,15
1985	1555,55	518,52	259,26
1986	1503,05	501,02	250,51
1987	1554,63	518,21	259,11
1988	1623,00	541,00	270,50
1989	1815,98	605,33	302,66
1990	1822,34	607,45	303,72
1991	2407,03	802,34	401,17
1992	2462,51	820,84	410,42
1993	2556,88	852,29	426,15
1994	2827,95	942,65	471,33
1995	2767,20	922,40	461,20
1996	2779,48	926,49	463,25
1997	3203,04	1067,68	533,84
1998	4573,94	1524,65	762,32
1999	4676,62	1558,87	779,44
2000	4457,44	1485,81	742,91
2001	4460,26	1486,75	743,38
2002	5047,13	1682,38	841,19
2003	4558,39	1519,46	759,73
2004	4902,16	1634,05	817,03
2005	4477,93	1492,64	746,32
2006	5141,83	1713,94	856,97
2007	5815,60	1938,53	969,27

Tabla B.2 Tier 1:Emisiones de Contaminantes Locales, Transporte Aéreo Internacional

Año	Emisiones Internacionales (Ton)		
	NOx	CO	NMCOV
1984	1394,68	464,89	232,45
1985	1156,13	385,38	192,69
1986	1175,55	391,85	195,93
1987	1201,51	400,50	200,25
1988	1252,99	417,66	208,83
1989	1546,62	515,54	257,77
1990	1404,05	468,02	234,01
1991	1306,27	435,42	217,71
1992	1862,31	620,77	310,38
1993	2347,27	782,42	391,21
1994	1872,36	624,12	312,06
1995	2662,64	887,55	443,77
1996	3067,58	1022,53	511,26
1997	4167,46	1389,15	694,58
1998	4029,14	1343,05	671,52
1999	3328,04	1109,35	554,67
2000	2775,95	925,32	462,66
2001	3706,51	1235,50	617,75
2002	3130,37	1043,46	521,73
2003	2430,62	810,21	405,10
2004	2772,33	924,11	462,06
2005	3745,26	1248,42	624,21
2006	3614,55	1204,85	602,43
2007	3959,99	1320,00	660,00

TIER 2A

Tabla B.3 Tier 2A: Emisiones de NOx, Transporte Aéreo Nacional e Internacional

Año	NOx emitido por consumo de kerosene de aviación nacional		NOx emitido por consumo de kerosene de aviación internacional	
	LTO (ton)	Crucero (ton)	LTO (ton)	Crucero (ton)
1984	718,85	479,83	371,87	1404,61
1985	798,42	512,99	435,95	1032,00
1986	796,87	469,22	517,30	972,61
1987	832,04	486,18	567,44	953,95
1988	851,51	523,47	599,87	986,40
1989	938,76	604,78	667,69	1292,99
1990	975,75	574,94	689,91	1086,97
1991	948,08	1071,66	796,59	850,88
1992	953,55	1112,75	902,53	1454,74
1993	1162,92	1000,34	991,42	1985,05
1994	1226,16	1167,84	1206,10	1152,97
1995	1378,84	978,25	1306,59	2063,13
1996	1693,12	694,13	1328,97	2559,67
1997	1629,55	1103,82	1530,14	3762,85
1998	1565,97	2292,38	1731,31	3376,79
1999	1437,88	2510,23	1625,77	2586,32
2000	1561,35	2223,61	1489,74	2018,72
2001	1594,21	2196,02	1545,66	3155,13
2002	1542,42	2730,60	1583,30	2376,63
2003	1494,66	2384,08	1558,00	1504,72
2004	1391,31	2755,84	1592,97	1907,06
2005	1469,64	2333,12	1626,68	3120,88
2006	1356,21	2986,88	1687,60	2889,97
2007	1353,05	3552,29	1940,28	3071,41

Tabla B.4 Tier 2A: Emisiones de CO, Transporte Aéreo Nacional e Internacional

Año	CO emitido por consumo de kerosene de aviación nacional		CO emitido por consumo de kerosene de aviación internacional	
	LTO (ton)	Crucero (ton)	LTO (ton)	Crucero (ton)
1984	570,85	305,35	453,50	413,12
1985	634,04	326,45	531,65	303,53
1986	632,80	298,59	630,85	286,06
1987	660,74	309,39	692,00	280,57
1988	676,20	333,12	731,55	290,12
1989	745,49	384,86	814,25	380,29
1990	774,86	365,87	841,35	319,70
1991	752,89	681,97	971,45	250,26
1992	757,23	708,12	1100,65	427,86
1993	923,50	636,58	1209,05	583,84
1994	973,71	743,17	1470,85	339,11
1995	1094,96	622,52	1593,40	606,80
1996	1344,54	441,72	1620,70	752,85
1997	1294,05	702,43	1866,03	1106,72
1998	1243,57	1458,78	2111,35	993,17
1999	1141,84	1597,42	1982,65	760,68
2000	1239,90	1415,03	1816,75	593,74
2001	1265,99	1397,46	1884,95	927,98
2002	1224,86	1737,66	1930,85	699,01
2003	1186,94	1517,14	1900,00	442,56
2004	1104,86	1753,71	1942,65	560,90
2005	1167,06	1484,71	1983,75	917,91
2006	1076,99	1900,74	2058,05	849,99
2007	1074,48	2260,55	2366,20	903,36

Tabla B.5 Tier 2A: Emisiones de NMVOC, Transporte Aéreo Nacional y Internacional

Año	NMVOC emitido por consumo de kerosene de aviación nacional		NMVOC emitido por consumo de kerosene de aviación internacional	
	LTO (ton)	Crucero (ton)	LTO (ton)	Crucero (ton)
1984	183,24	30,53	136,05	223,09
1985	203,52	32,64	159,50	163,91
1986	203,12	29,86	189,26	154,47
1987	212,09	30,94	207,60	151,51
1988	217,05	33,31	219,47	156,66
1989	239,29	38,49	244,28	205,36
1990	248,72	36,59	252,41	172,64
1991	241,67	68,20	291,44	135,14
1992	243,06	70,81	330,20	231,05
1993	296,43	63,66	362,72	315,27
1994	312,55	74,32	441,26	183,12
1995	351,47	62,25	478,02	327,67
1996	431,58	44,17	486,21	406,54
1997	415,37	70,24	559,81	597,63
1998	399,17	145,88	633,41	536,31
1999	366,52	159,74	594,80	410,77
2000	397,99	141,50	545,03	320,62
2001	406,37	139,75	565,49	501,11
2002	393,17	173,77	579,26	377,47
2003	380,99	151,71	570,00	238,98
2004	354,65	175,37	582,80	302,89
2005	374,61	148,47	595,13	495,67
2006	345,70	190,07	617,42	459,00
2007	344,90	226,05	709,86	487,81

Tabla B.6 Tier 2A: Emisiones de SO₂, Transporte Aéreo Nacional e Internacional

Año	SO ₂ emitido por consumo de kerosene de aviación nacional		SO ₂ emitido por consumo de kerosene de aviación internacional	
	LTO (ton)	Crucero (ton)	LTO (ton)	Crucero (ton)
1984	56,38	43,62	22,68	82,62
1985	62,62	46,64	26,58	60,71
1986	62,50	42,66	31,54	57,21
1987	65,26	44,20	34,60	56,11
1988	66,79	47,59	36,58	58,02
1989	73,63	54,98	40,71	76,06
1990	76,53	52,27	42,07	63,94
1991	74,36	97,42	48,57	50,05
1992	74,79	101,16	55,03	85,57
1993	91,21	90,94	60,45	116,77
1994	96,17	106,17	73,54	67,82
1995	108,14	88,93	79,67	121,36
1996	132,79	63,10	81,04	150,57
1997	127,81	100,35	93,30	221,34
1998	122,82	208,40	105,57	198,63
1999	112,77	228,20	99,13	152,14
2000	122,46	202,15	90,84	118,75
2001	125,04	199,64	94,25	185,60
2002	120,97	248,24	96,54	139,80
2003	117,23	216,73	95,00	88,51
2004	109,12	250,53	97,13	112,18
2005	115,27	212,10	99,19	183,58
2006	106,37	271,53	102,90	170,00
2007	106,12	322,94	118,31	180,67

Anexo C.

Emisiones de Contaminantes Locales para el Transporte Marítimo, Serie 1984-2007

TIER 1

Tabla C.1 Tier 1: Emisiones de Contaminantes Locales, Transporte Marítimo Nacional

Año	Emisiones Nacionales (Ton)		
	NOx	CO	NMCOV
1984	8525,05	5683,37	1136,67
1985	10425,78	6950,52	1390,10
1986	9937,82	6625,21	1325,04
1987	9649,73	6433,15	1286,63
1988	7928,12	5285,41	1057,08
1989	10002,10	6668,07	1333,61
1990	9042,34	6028,23	1205,65
1991	6643,15	4428,77	885,75
1992	6885,39	4590,26	918,05
1993	8067,25	5378,17	1075,63
1994	5332,56	3555,04	711,01
1995	6640,68	4427,12	885,42
1996	6106,54	4071,03	814,21
1997	6284,40	4189,60	837,92
1998	8234,72	5489,81	1097,96
1999	5881,49	3920,99	784,20
2000	5834,04	3889,36	777,87
2001	3267,02	2178,01	435,60
2002	3857,90	2571,93	514,39
2003	3486,94	2324,63	464,93
2004	3692,36	2461,57	492,31
2005	9785,24	6523,49	1304,70
2006	7541,71	5027,81	1005,56
2007	10622,01	7081,34	1416,27

Tabla C.2 Tier 1: Emisiones de Contaminantes Locales, Transporte Marítimo Internacional

Año	Emisiones Internacionales (Ton)		
	NOx	CO	NMCOV
1984	9938,27	6625,51	1325,10
1985	9768,34	6512,23	1302,45
1986	10460,45	6973,64	1394,73
1987	10785,29	7190,19	1438,04
1988	11205,39	7470,26	1494,05
1989	10744,69	7163,12	1432,62
1990	11490,99	7660,66	1532,13
1991	12305,58	8203,72	1640,74
1992	12490,29	8326,86	1665,37
1993	15087,51	10058,34	2011,67
1994	15598,61	10399,08	2079,82
1995	16745,52	11163,68	2232,74
1996	18082,04	12054,69	2410,94
1997	23846,15	15897,43	3179,49
1998	25477,08	16984,72	3396,94
1999	28068,66	18712,44	3742,49
2000	31846,70	21231,13	4246,23
2001	34271,22	22847,48	4569,50
2002	39409,31	26272,87	5254,57
2003	39444,67	26296,45	5259,29
2004	46481,37	30987,58	6197,52
2005	62806,65	41871,10	8374,22
2006	69982,00	46654,67	9330,93
2007	74811,49	49874,33	9974,87