



---

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESTUDIOS DE POSGRADO

***ESTUDIO DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y  
EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA LA INDUSTRIA DE  
LA CELULOSA Y EL PAPEL EN EL PERIODO  
1965 - 2001***

TESIS

Presentada por:

Lourdes Mendoza González

Para obtener el grado de:  
Maestra en ingeniería  
(Energética)

Dirigida por:

Dr. Javier E. Aguillón Martínez





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# *Dedicatoria*

*A mis Padres*

*Albertina González y Antonio Mendoza*

*Por el ejemplo de vida que me han dado.*

*A mis hijos*

*Esteban Federico y Nestor Gabriel*

*Porque desde el día en que nacieron le han dado un nuevo sentido a mi vida, y porque su amor, sus sonrisas y sus abrazos me dan día con día la fuerza necesaria para salir adelante.*

*A*

*Gabriel*

*Por todo lo que significa en mi vida*

*A mis hermanos*

*Leticia, Antonio, Gerardo y Sergio*

*Por el apoyo que siempre me han dado.*

*Lourdes Mendoza*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de realizar estudios superiores de gran calidad.

Al Dr. Javier E. Aguillón Martínez, por todo el apoyo, paciencia y confianza que tuvo para dirigir este trabajo.

A la Dra. Claudia Sheinbaum, por la ayuda e información proporcionada.

A los Sinodales:

Dr. Victor Rodríguez Padilla  
Dr. Arturo Reinking Cejudo  
Dr. Alfonso Duran Moreno  
Dr. Gabriel León de los Santos

Por la revisión y sugerencias que hicieron a este trabajo.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
---------------------------	---

### **CAPITULO I**

#### **Descripción del proceso de producción de la celulosa y el papel**

1.1 Introducción.....	6
1.2 Producción de celulosa.....	8
1.2.1 Preparación de la madera.....	8
1.2.2 Preparación de la pulpa.....	8
1.2.2.1 Procesos químicos.....	8
1.2.2.2 Procesos mecánicos.....	10
1.2.2.3 Procesos termomecánicos.....	14
1.2.3 Blanqueado.....	15
1.2.4 Recuperación química.....	16
1.3 Proceso de Fabricación de papel.....	16
1.3.1 Preparación de las pastas.....	16
1.3.2 Formación.....	18
7	
1.3.3 Prensado.....	19
1.3.4 Secado.....	19
1.3.5 Terminado.....	19

### **CAPITULO II**

#### **Metodologías de índices de cambio**

2.1 Importancia y planteamiento general.....	22
2.2 Indices de Laspeyres (metodología).....	23
2.3 Indices de acuerdo a la metodología utilizada por Farla et al (metodología II).....	27

### **CAPITULO III**

#### **Tendencias históricas del consumo aparente de celulosa y papel en México**

3.1 Principales productores de celulosa y papel nacional.....	33
3.2 Tendencias históricas del consumo aparente de celulosa.....	37
3.3 Tendencias históricas de la producción, importación y exportación de la celulosa en México.....	39
3.4 Tendencias históricas del consumo aparente de papel.....	41
3.5 Tendencias históricas de la producción, importación y exportación de papel en México.....	44
3.6 Reciclaje.....	47
3.6.1 Naturaleza del papel reciclado.....	48
3.6.2 Consumo de materias primas fibrosas para la fabricación de papel.....	50
3.6.3 Importaciones de fibras secundarias y recolección nacional.....	51

## **CAPITULO IV**

### **Tendencias históricas del consumo de energía para la industria de la celulosa y el papel en México**

4.1 Descripción del crecimiento del consumo de energía global.....	53
4.2 Descripción del crecimiento del consumo energético por combustible.....	57
4.3 Descripción de los cambios en la intensidad energética global.....	62
4.4 Descripción de los cambios en la intensidad energética por combustible.....	65

## **CAPITULO V**

### **Tendencias históricas de emisiones de CO<sub>2</sub> por la industria de la celulosa y el papel**

5.1 Descripción histórica del crecimiento de las emisiones globales de la industria de la celulosa y el papel.....	69
5.2 Descripción histórica del comportamiento de las emisiones de CO <sub>2</sub> por combustible.....	74
5.3 Descripción de los cambios en la intensidad en emisiones de CO <sub>2</sub> globales.....	80
5.4 Descripción de los cambios en la intensidad de emisiones de CO <sub>2</sub> por combustible.....	82

## **CAPITULO VI**

### **Análisis de la variación del consumo de energía de la industria de la celulosa y el papel**

6.1 Metodología I – Indices de Laspeyres.....	88
6.1.1 Primer periodo.....	88
6.1.2. Segundo periodo.....	90
6.1.3. Tercer período.....	91
6.1.3.1. Período 3-a.....	91
6.1.3.2. Período 3.b.....	93
6.1.4 Cuarto periodo.....	94
6.2 Metodología II (Indicadores Físicos de Farla et al ) .....	96
6.2.1 Primer periodo.....	96
6.2.2 Segundo periodo.....	97
6.2.3 Tercer periodo.....	99
6.2.3.1 Período 3-a.....	99
6.2.3.2 Período 3-b.....	100
6.2.4 Cuarto periodo.....	102

## **CAPITULO VII**

### **ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL**

7.1 Metodología I –Índices de Laspeyres.....	105
7.1.1 Primer periodo.....	105
7.1.2 Segundo periodo.....	106
7.1.3 Tercer período.....	108
7.1.3.1 Período 3-a.....	108
7.1.3.2 Período 3.b.....	110
7.1.4 Cuarto periodo.....	111

7.2 Metodología II (usada por Farla et al).....	113
7.2.1 Primer periodo.....	114
7.2.2 Segundo periodo.....	115
7.2.3 Tercer periodo.....	116
7.2.3.1 Periodo 3-a.....	116
7.2.3.2 Periodo 3-b.....	118
7.2.4 Cuarto periodo.....	120

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>124</b>
--------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>128</b>
--------------------------	------------

## **APÉNDICES**

Apéndice A.....	131
Apéndice B.....	135
Apéndice C.....	141
Apéndice D.....	142
Apéndice E.....	143
Apéndice F.....	145
Apéndice G.....	151
Apéndice H.....	155
Apéndice I.....	162

## **ÍNDICE DE TABLAS, GRÁFICAS Y DIAGRAMAS**

### **Capítulo I**

Tabla 1.1	Comparación de las pulpas Kraft y al sulfato.....	10
Diagrama 1	Elaboración de celulosa al sulfato.....	11
Diagrama 2	Elaboración de celulosa al sulfato.....	12
Diagrama 3	Elaboración de celulosa de bagazo de caña.....	13
Tabla 1.2	Clasificación del papel por grupos.....	14
Tabla 1.3	Energía promedio utilizada en los diferentes pasos para la elaboración de celulosa.....	20
Tabla 1.4	Energía promedio utilizada en los diferentes pasos para la elaboración de papel.....	20
Diagrama 4	Máquina de Fourdrinier.....	21

### **Capítulo III**

Figura 3.1	Distribución de las plantas de celulosa y papel en el país.....	34
Tabla 3.1	Productores de papel.....	35
Tabla 3.2	Productores de celulosa y papel.....	37
Gráfica 3.1	Consumo aparente de celulosa y Producto Interno Bruto.....	38
Gráfica 3.2	Consumo aparente de Celulosa.....	40
Gráfica 3.3	Consumo aparente de papel.....	40

Gráfica 3.3	Consumo aparente de papel y Producto interno Bruto.....	43
Gráfica 3.4	Consumo aparente de papel.....	45
Tabla 3.3	Propiedades contaminantes y método de eliminación.....	49
Gráfica 3.5	Volumen del consumo de materias primas fibrosas en la producción de papel.....	50
Gráfica 3.6	Importaciones de fibra secundaria.....	51
Gráfica 3.7	Recolección nacional.....	52

## Capítulo IV

Gráfica 4.1	Consumo de energía y Producto Interno Bruto.....	53
Gráfica 4.2	Consumo de energía y producción total.....	54
Tabla 4.1	Consumo total de energía para el tercer período.....	55
Gráfica 4.3	Consumo de energía por combustible para la industria De la celulosa y el papel.....	57
Tabla 4.2	Participación porcentual en el consumo de energía de las diferentes fuentes energéticas para el primer periodo.....	58
Tabla 4.3	Participación porcentual en el consumo de energía de las diferentes fuentes energéticas para el segundo periodo.....	59
Tabla 4.4	Participación porcentual en el consumo de energía de las diferentes fuentes energéticas para el tercer periodo.....	61
Tabla 4.5	Participación porcentual en el consumo de energía de las diferentes fuentes energéticas para el cuarto periodo.....	62
Gráfica 4.4	Intensidad energética global.....	63
Tabla 4.6	Intensidad energética global para el tercer periodo.....	64
Gráfica 4.5	Intensidad en energía por combustible.....	65

## Capítulo V

Tabla 5.1	Indices de emisión de CO <sub>2</sub> para combustibles nacionales.....	69
Tabla 5.2	Indices de emisión de CO y NO <sub>x</sub> para combustibles nacionales.....	70
Gráfica 5.1	Emisiones totales de CO <sub>2</sub> .....	71
Gráfica 5.2	Emisiones totales de CO y NO <sub>x</sub> .....	72
Gráfica 5.3	Emisiones de CO <sub>2</sub> por combustible.....	75
Tabla 5.3	Participación porcentual de las emisiones totales de CO <sub>2</sub> por combustible para el primer período.....	76
Tabla 5.4	Participación porcentual de las emisiones totales de CO <sub>2</sub> por combustible para el segundo período.....	77
Tabla 5.5	Participación porcentual de las emisiones totales de CO <sub>2</sub> por combustible para el tercer período.....	79
Tabla 5.6	Participación porcentual de las emisiones totales de CO <sub>2</sub> por combustible para el cuarto período.....	80
Gráfica 5.4	Intensidad global en emisiones de CO <sub>2</sub> .....	81
Gráfica 5.5	Intensidad en emisiones de CO <sub>2</sub> por combustible.....	83



## Capítulo VI

Gráfica 6.1	Variación del consumo de energía para el periodo comprendido entre 1965 y 1975 (m-1).....	89
Tabla 6.1	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado primer periodo (m-1).....	89
Gráfica 6.2	Variación del consumo de energía para el periodo comprendido entre 1975 y 1985 (m-1).....	90
Tabla 6.2	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado segundo periodo (m-1).....	90
Gráfica 6.3a	Variación del consumo de energía para el periodo comprendido entre 1985 y 1990 (m-1).....	92
Tabla 6.3a	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado periodo 3-a (m-2).....	92
Gráfica 6.3b	Variación del consumo de energía para el periodo comprendido entre 1990y 1995 (m-1).....	94
Tabla 6.3b	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado periodo 3-b (m-1).....	94
Tabla 6.4	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado cuarto periodo (m-1).....	94
Gráfica 6.4	Variación del consumo de energía para el periodo Comprendido entre 1995 y 2001(m-1).....	95
Gráfica 6.5	Variación del consumo de energía para el periodo comprendido entre 1965 y 1975(m-2).....	96
Tabla 6.5	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado primer periodo (m-2).....	97
Tabla 6.6	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado segundo periodo (m-2).....	97
Gráfica 6.6	Variación del consumo de energía para el periodo comprendido entre 1975 y 1985 (m-2).....	98
Gráfica 6.7a	Variación del consumo de energía para el periodo comprendido entre 1985 y 1990 (m-2).....	99
Tabla 6.7a	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado periodo 3-a (m-2).....	100
Gráfica 6.7b	Variación del consumo de energía para el periodo comprendido entre 1990 y 1995 (m-2).....	101
Tabla 6.7b	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado periodo 3-b (m-2).....	101
Grafica 6.8	Variación del consumo de energía para el periodo comprendido entre 1995 y 2001(m-2).....	102
Tabla 6.8	% $\Delta$ E con respecto a cada factor considerado cuarto periodo (m-2).....	102
Tabla 6.9	Resumen de resultados para la variación en el consumo de energía.....	104

## Capítulo VII

Gráfica 7.1	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1965 y 1975 (m-1).....	105
Tabla 7.1	%ΔC con respecto a cada factor considerado primer periodo (m-1).....	106
Gráfica 7.2	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1975 y 1985 (m-1).....	107
Tabla 7.2	%ΔC con respecto a cada factor considerado segundo periodo (m-1).....	107
Gráfica 7.3a	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1985 y 1990 (m-1).....	109
Tabla 7.3a	%ΔC con respecto a cada factor considerado periodo 3-a (m-2).....	110
Gráfica 7.3b	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1990 y 1995 (m-1).....	110
Tabla 7.3b	%ΔC con respecto a cada factor considerado periodo 3-b (m-1).....	111
Gráfica 7.4	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1995 y 2001(m-1).....	112
Tabla 7.4	%ΔC con respecto a cada factor considerado cuarto periodo (m-1).....	113
Gráfica 7.5	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1965 y 1975(m-2).....	114
Tabla 7.5	%ΔC con respecto a cada factor considerado primer periodo (m-2).....	114
Gráfica 7.6	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1975 y 1985 (m-2).....	115
Tabla 7.6	%ΔC con respecto a cada factor considerado segundo periodo (m-2).....	116
Gráfica 7.7a	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1985 y 1990 (m-2).....	117
Tabla 7.7a	%ΔC con respecto a cada factor considerado periodo 3-a (m-2).....	117
Tabla 7.7b	%ΔC con respecto a cada factor considerado periodo 3-b (m-2).....	118
Gráfica 7.7b	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1990 y 1995 (m-2).....	119
Tabla 7.8	%ΔC con respecto a cada factor considerado cuarto periodo (m-2).....	120
Gráfica 7.8	Variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> para el periodo comprendido entre 1995 y 2001(m-2).....	120
Tabla 7.9	Resumen de resultados para la variación de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	122

## INTRODUCCIÓN

Uno de los temas que día con día adquiere mayor importancia en el mundo actual, es el relacionado con el uso racional de los recursos energéticos de una nación, ya que esto trae consigo, tanto beneficios económicos como ambientales, debido a que un ahorro en el consumo de energía reduce tanto costos por combustible así como también emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera. De aquí que un análisis histórico del comportamiento del consumo energético y emisiones atmosféricas para una determinada actividad nos proporciona la información necesaria para poder determinar que factores han influido a través del tiempo en dichas variaciones y de esta manera se podrían optimizar los procesos de producción para obtener una mayor productividad con un mínimo consumo energético, es decir lograr que el proceso sea eficiente.

Del planteamiento de estos problemas han surgido en los últimos años diferentes metodologías para el análisis de las tendencias históricas del uso de la energía. Un aspecto común de este tipo de análisis es el hecho de que la actividad de un sector es frecuentemente medida usando parámetros económicos tales como el valor agregado. Aunque la razón del consumo de energía y por ejemplo el valor agregado son útiles para los modelos macroeconómicos de la demanda de energía, este concepto no es útil para entender la eficiencia energética en los procesos. Este hecho ha llevado al desarrollo de metodologías que se basan en la explicación de la demanda de energía a partir de las necesidades de su uso y no de la oferta agregada de la misma, es decir, a partir de las necesidades energéticas o usos finales.

En este trabajo se realizarán tanto el análisis histórico de la variación del consumo de energía como la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, para la industria de la celulosa y el papel, mediante el uso de dos diferentes metodologías, en las que se utilizan diferentes factores físicos de la industria, para determinar cual o cuales de dichos factores intervienen de manera mas importante en los cambios presentados.

En la actualidad una quinta parte de toda la madera cosechada en el mundo se destina a la producción de papel, y fabricar una tonelada de papel requiere entre 2 y 3.5 toneladas de árboles[38]. Por otra parte, la producción de celulosa y papel es el quinto consumidor industrial mundial de energía.

La industria mexicana de celulosa y papel, tiene muy ondas raíces en su sociedad y su cultura. Su desarrollo histórico ha sido siempre creciente, pero dependiente históricamente de tecnologías y equipos profesionales extranjeros, su mayor crecimiento y expansión industrial se dio en el período de 1960-1975. Destacando a partir de 1965 la participación de profesionales y técnicos mexicanos.

## **OBJETIVO:**

Estudio de la influencia de los factores físicos, actividad, estructura y eficiencia, sobre la variación del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>, para la industria de la celulosa y el papel en México para el periodo 1965 - 2001.

## **HIPÓTESIS:**

Si utilizamos dos distintas metodologías para determinar la influencia de los factores físicos : actividad, estructura y eficiencia, sobre la variación del consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>, entonces con base en el comportamiento histórico de la industria de la celulosa y el papel en México, se podrá determinar que factores han tenido mayor influencia sobre dichas variaciones, y también que metodología es la más adecuada para este estudio.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Utilizar dos distintas metodologías para determinar los factores físicos que tienen mayor influencia en el comportamiento histórico del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Realizar el análisis histórico del consumo aparente de la celulosa y el papel, con base en la producción, importación y exportación de cada uno de estos productos. Así como un análisis de la influencia que tiene el reciclado de papel en nuestro país
- Estudiar y describir el consumo energético global histórico de la industria de la celulosa y el papel en México, con base a un análisis histórico del consumo de energía para cada una de las fuentes de energía utilizadas, y analizar las variaciones en la intensidad energética global y la intensidad energética por combustible.
- Estudiar las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al proceso de producción de la celulosa y papel de manera global y también de las emisiones debidas a cada uno de los combustibles utilizados para el periodo 1965 – 2001, así como las intensidades en emisiones tanto globales como por combustible.
- Analizar mediante las metodologías de Laspeyres y Farla, la variación en el consumo de energía, y emisiones de CO<sub>2</sub>, utilizando información obtenida de la industria de la celulosa y el papel y del Balance Nacional de Energía.

## **METODOLOGÍAS EMPLEADAS**

Este trabajo presenta un análisis histórico del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> para la industria de la celulosa y el papel entre los años 1965 y el 2001, mediante este análisis se pretende determinar que factores físicos han influido de manera más importante en la variación de consumo de energía. Para la realización de este análisis se hace uso de dos distintas metodologías las cuales consideran que los factores físicos que han determinado el comportamiento histórico de la variación del consumo energético y la variación en emisiones de CO<sub>2</sub> son los siguientes:

- Cambios en la actividad
- Cambios estructurales
- Cambios en la intensidad energética
- Cambio en la mezcla final de combustible
- Cambio en la mezcla de combustible primario.

La primera de las metodologías expuesta se basa en la obtención de los índices de Laspeyres [ 2 ], en la cual para determinar que factor de los ya mencionados ha tenido mayor influencia en el consumo de energía histórico y emisiones de CO<sub>2</sub> , se realiza una aproximación, considerando que solamente uno de los factores físicos cambia al transcurrir el tiempo y los demás se mantienen constantes, de esta manera se va cambiando el factor que varía al transcurrir el tiempo, todo esto considerando un año base.

Para el análisis de la variación en el consumo de energía se utilizan los factores actividad, estructura y eficiencia, al extender la metodología para el análisis de la variación en emisiones de CO<sub>2</sub>, se utilizan los tres factores anteriores mas el cambio en el mezcla final de combustible y el cambio en combustible primario.

La segunda metodología se basa en un estudio presentado por Farla et al [16] en la cual se introduce un esquema de peso para calcular un índice de producción física (PPI), y mediante el cual quedan definidas la actividad, la estructura y la intensidad en energía (para el caso de la variación en el consumo de energía), determinando año con año la variación de cada uno de estos factores y de esta manera poder determinar cual de ellos tuvo mayor influencia en las variaciones del consumo de energía en un periodo determinado. Al extender esta metodología para el análisis de la variación en emisiones se integran los dos factores restantes en un solo término.

## **ESTRUCTURA DE LA TESIS**

Este trabajo se desarrolla en siete capítulos y sus conclusiones, los cuales estarán distribuidos de la siguiente manera:

Capítulo I : En este capítulo se hará una descripción de los diferentes procesos que existen para la obtención de celulosas así como también se presenta la descripción de los cinco pasos elementales que se llevan a cabo en la elaboración de papel.

Capítulo II : Aquí se describe el desarrollo de las dos metodologías mediante las cuales se determinará que factores han tenido una influencia determinante en el

comportamiento histórico del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera por la industria de la celulosa y el papel.

Capítulo III.- En este espacio se muestra como parte inicial un listado de los principales productores de celulosa y papel en México, indicando el tipo de producto final que cada uno de estos productores obtiene. Posteriormente se realiza un análisis histórico del consumo aparente de la celulosa y el papel realizado en base a la producción, importación y exportación de cada uno de estos productos. Finalmente se realiza un análisis de la influencia que tiene el reciclado de papel en nuestro país y como influye en el consumo aparente.

Capítulo IV.- Este capítulo presenta una descripción del consumo energético Global histórico de la industria de la celulosa y el papel en México, así como también un análisis histórico del consumo de energía para cada una de las fuentes de energía utilizadas. Posteriormente se presenta el análisis de las variaciones en la intensidad energética Global y la intensidad energética por combustible para esta industria.

Capítulo V.- En este capítulo se hace una descripción histórica de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al proceso de producción de la celulosa y papel de manera global y también de las emisiones debidas a cada uno de los combustibles utilizados. En la segunda parte de este capítulo se realiza el análisis histórico de las intensidades en emisiones tanto globales como por combustible.

Capítulo VI.- Este capítulo muestra el análisis de la información obtenida de la industria de la celulosa y el papel aplicando cada una de las dos metodologías expuestas en el capítulo II, para el análisis de la variación en el consumo de energía.

Capítulo VII.- En este espacio se muestra el análisis de la información obtenida para la industria de la celulosa y el papel, al aplicar las dos metodologías propuestas en este trabajo, para el caso del análisis de la variación en emisiones de CO<sub>2</sub>.

Conclusiones.- En esta sección se presentan las conclusiones finales obtenidas de este trabajo.

## CAPITULO I

### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CELULOSA Y EL PAPEL

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

Hace mucho tiempo, la necesidad de nuestros primeros ancestros de transmitir palabras e imágenes quedó plasmada en muros de piedra, tablillas de arcilla, pieles de animales y otros medios. Más tarde, alrededor del año 3000 A.C. los egipcios comenzaron a escribir en juncos de papiro. Se atribuye a Ts'ai Lun, un funcionario chino, la invención aproximadamente en el año 105 D.C. del primer papel real, a partir de machacar moras, redes de pesca de cáñamo y trapos hasta obtener un material que en última instancia permitía que los pinceles de caligrafía se deslizaran sobre una superficie suave.

Las técnicas de fabricación de papel viajaron a occidente cuando un ejército árabe derrotó a las fuerzas chinas en el año 751 D.C. Las técnicas de fabricación de papel se difundieron lentamente desde el Asia islámica hacia Europa. La Edad Media fue en Europa una época de analfabetismo, que finalmente se rompió con la invención de Gutenberg en el siglo XVI. La publicación de la Biblia de Gutenberg en 1455 y el aumento posterior de la producción en masa de libros facilitó la difusión amplia de las ideas y la información. Esto disparó la demanda de papel. En esa época, la principal fuente de fibra eran los trapos.

El descubrimiento del cloro elemental en 1774 y la invención de la máquina de papel de hoja continua de Fourdrinier en 1807 permitió con el tiempo a los fabricantes reducir a pulpa y blanquear con medios químicos las fibras de madera y aumentar la producción en forma radical creando rollos en vez de hojas individuales.

Pero a fines del siglo XIX, con el desarrollo de las técnicas comerciales para producir celulosa a partir de madera, un material que podía ser cosechado en cualquier época y almacenado y transportado en grandes cantidades, que se comenzó a notar el pleno potencial de la nueva máquina. En forma inversa, una vez que las celulosas provenientes de madera inauguraron una era de producción de papel barato y en gran escala a mediados de 1800, comenzaron a desarrollarse nuevos artículos que insertaron todavía más el uso del papel en las actividades comerciales y domésticas.

En su fase actual, el paradigma de orientación global basado en el árbol ha llegado a dominar la producción de papel, a medida que se expandieron los procesos de fabricación industrial y los métodos de explotación forestal. El uso mundial de papel creció 423% entre 1961 y 2002 [ 38 ].

Hacia mediados de la década de 1980, el impacto ambiental de la fabricación de papel en base a árboles generó una profunda preocupación a nivel público, además se dieron cuenta que el cloro elemental utilizado para separar y blanquear las fibras de madera, combinada con lignina produce dioxina, uno de los agentes carcinógenos y deterioradores de hormonas más importantes, por lo que se comenzó a asociar el papel con los problemas de la salud pública y deterioro ambiental.

En la actualidad una quinta parte de toda la madera cosechada en el mundo se destina a la producción de papel, y fabricar una tonelada de papel requiere entre 2 y 3,5 toneladas de árboles. En términos de los usos de papel, el empaque actualmente supera a los papeles destinados a la comunicación.

La industria mexicana de celulosa y papel, tiene muy ondas raíces en su sociedad y su cultura, antes y después de la época precortesiana, y con mayor énfasis a partir de 1890. Su desarrollo histórico ha sido siempre creciente, pero dependiente históricamente de tecnologías y equipos profesionales extranjeros, su mayor crecimiento y expansión industrial se dio en el período de 1960-1975. Destacando a partir de 1965 la participación de profesionales y técnicos mexicanos.

En la actualidad la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel registra 67 empresas las cuales han tenido un desarrollo productivo difícil pero creciente capaz de cubrir la demanda nacional presente.

Aunque esta industria se ha desarrollado bajo un modelo de dependencia tecnológica (procesos base en plantas paquete, equipos, productos, etc.) a partir de 1960, la presencia de técnicos extranjeros para la dirección y producción en las empresas empezó a disminuir gradualmente hasta ser un mínimo en la actualidad.

A partir de 1990 con el TLC, se ha propiciado la presencia de una serie de problemas que no se tenía en el pasado, todo esto hace que se presenten problemas y retos constantes para generar soluciones que les permitan ser competitivos en el mercado. Sobre todo ahora que a nivel mundial está vigente el control de calidad y certificación ante autoridades clientes y sociedad en referente al cumplimiento de la normatividad relativa en sus relaciones con:

El medio ambiente, calidad de productos, condiciones tecnológicas de fabricación de sus productos y servicios al cliente.

En México la principal fuente de materia prima para la preparación de papel son las fibras de celulosa vegetal, dentro de las que podemos mencionar las siguientes: madera de conífera, bagazo de caña, pajas de algodón y cereales, y el mismo papel (desechos de papel) [21].

A partir de la materia prima se obtiene la celulosa, la cual se puede definir como un material fibroso crudo libre de lignina (sustancia que mantiene unidas las fibras de celulosa) y de cualquier otra sustancia, que se produce ya sea por métodos mecánicos o químicos. Una vez obtenida la celulosa se procede a la elaboración del papel, el cual se elabora a partir de una solución acuosa hecha con el material fibroso y mediante el uso de una máquina formadora de papel. De acuerdo al tipo de papel requerido la pulpa recibe un tratamiento específico.

En la siguiente sección se explica brevemente cada uno de los pasos que se llevan a cabo en la producción de la celulosa.



## 1.2 PRODUCCIÓN DE CELULOSA

El proceso de elaboración de las diferentes celulosas (también llamadas pulpas) se puede dividir en cuatro pasos principales, que son los siguientes:

- I) Preparación de la madera (o materia prima utilizada)
- II) Pulpeo
- III) Blanqueado de la pulpa
- IV) Recuperación química.

A continuación se describirá cada uno de estos pasos.

### 1.2.1 Preparación de la madera (o material fibroso).

La primera etapa para la obtención de celulosa, es la preparación de la madera o material fibroso utilizado, que consiste básicamente en cortar la materia prima en pequeñas piezas (astillas). La energía requerida en este proceso es mínima, y es básicamente energía eléctrica para la operación de la maquinaria necesaria.

### 1.2.2 Preparación de la Pulpa

Este proceso consiste en separar la fibra celulósica de los materiales no deseados como son la lignina, aunque es también posible la fabricación de pulpa sin remover dicha sustancia; la elección del proceso dependerá de la calidad y uso final que se le de al papel que se producirá a partir de la pulpa obtenida, ya que por ejemplo, se requerirá papel blanco y brillante para escritura e impresión, papeles duros y resistentes para embalaje, papeles absorbentes para usos higiénicos, etc.

En la industria de la celulosa, se utilizan diferentes técnicas para la obtención de la Pulpa, dentro de los cuales podemos mencionar los siguientes:

Procesos Químicos.

Procesos Mecánicos.

Procesos Termomecánicos.

En cada una de estas diferentes técnicas se tienen que tomar en cuenta los diferentes factores económicos, de producción y calidad, para seleccionar la técnica adecuada.

#### 1.2.2.1 Procesos Químicos

En los procesos químicos que se llevan a cabo para la obtención de la celulosa, el primer paso consiste en mezclar las astillas de la madera (o del material utilizado) en una solución acuosa a determinadas condiciones de presión y temperatura (7-8 kg/cm<sup>2</sup> y 175°C) [21] dentro de un tanque digestor, en el que tienen lugar una serie de reacciones químicas muy complejas, con una duración aproximada de 12 horas. El proceso en el digestor es básicamente un cocimiento de la materia prima utilizada.

Dentro de los procesos químicos más utilizados, se encuentra el proceso denominado al sulfato, que es mejor conocido como proceso Kraft\*, y que es el de uso más común en la industria de la celulosa y papel (ver diagrama 1). En este proceso se utiliza una solución acuosa de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio (esta mezcla se conoce como licor blanco); durante el periodo de cocción se destruyen los enlaces de la lignina, asegurando un mínimo degradamiento de las fibras celulósicas (se emplean entre 2.5 y 3.5 libras de licor por libra de madera[21]).

Al finalizar el proceso digestivo, los productos obtenidos son la pulpa cruda de color café y el licor negro, éste último es una mezcla compleja de material orgánico y reactivos sobrantes. El licor negro y la pulpa se separan mediante operaciones de filtración y lavado. La economía de este proceso de pulpeo, depende en gran parte de un adecuado sistema de recuperación de los reactivos empleados en la etapa de digestión.

El licor negro es utilizado como combustible dentro de la propia industria, el calor obtenido de su combustión puede ser aprovechado para la producción de vapor, ya que su poder calorífico es elevado (el poder calorífico del licor negro de madera es de 7950.7 kJ/kg de licor a 60 % de sólidos, y el poder calorífico del licor negro de bagazo de caña es de 5084.3 kJ/kg a 39 % de sólidos)[21], contribuyendo de esta manera a un ahorro de combustible.

Una vez obtenida la pulpa, esta recibe una serie de tratamientos que dependerán del destino final del producto; inicialmente se tamiza y se lava con agua, se filtra y se vuelve a lavar de acuerdo con el grado de brillantez que se desea obtener.

Otro proceso químico utilizado para la producción de pulpa, es el proceso al Sulfito, la diferencia entre este último y el proceso Kraft, consiste en que en la etapa de digestión, se utilizan diferentes reactivos como son: ión bisulfato, cuyas bases pueden ser de calcio, magnesio, amoníaco o sodio (ver diagrama 2). El licor de cocción está formado por dióxido de azufre disuelto en agua que contiene la base antes mencionado

El proceso al Sulfito presenta ciertas desventajas, como son tiempo de cocción prolongado, problemas de corrosión y produce pulpas de menor resistencia a las producidas por el método Kraft.

Existen otros métodos químicos que se utiliza para la obtención de pulpas a partir de bagazo de caña o paja de cereales (ver diagrama 3). En este proceso, la materia prima se pasa por una mezcladora en la que se humedece con agua hasta lograr una determinada consistencia; la médula contenida en el bagazo (o paja de cereales), se separa de las fibras de celulosa mediante operaciones de centrifugado y lavado. La fibra obtenida se transporta a los digestores en los cuales se utiliza como reactivo deslignificador una solución de hidróxido de sodio, obteniendo de esta manera la pulpa, que en este caso se conoce como pulpa morena (el blanqueado de esta pulpa es más fácil que el blanqueado de la pulpa de madera).

---

\* La denominación Kraft parte de la palabra alemana que significa resistente [ 17 ].

Los procesos químicos disuelven la lignina y otros compuestos de la madera (hemiceulosa), por ello la pulpa producida tiene una masa de tan sólo entre 40 y 60 % [8] de la materia prima original. La tabla 1.1. muestra una comparación de las pulpas Kraft y al sulfito.

**Tabla 1.1 Comparación de las pulpas kraft y al sulfito**

PROPIEDAD	PULPA KRAFT	PULPA AL SULFITO
Rendimiento en cocción		más alto
Contenido de aña-celulosa		más alto
Contenido de pentosas	alto	
Contenido de hemicelulosa	similar	Similar
color de pulpa sin blanquear		más brillante
Empleo de especies de madera	más amplio	
Requerimientos de blanqueo	mayor	
Respuesta al batido		más rápido
Capacidad de inchamiento		más alto
Resistencia del papel	mayor	
Consistencia del papel	mayor	
Estabilidad dimensional	mejor	
Utilidad de los derivados		más alta

Fuente:Consumo de energía en la Industria de la celulosa y el papel , PEMEX .

### 1.2.2.2 Procesos mecánicos.

En este tipo de procesos, como su nombre lo indica la obtención de la pulpa se lleva a cabo mediante la aplicación de fuerzas mecánicas, es decir no se hace uso alguno de reactivos químicos. Este proceso consiste en moler la materia prima humedecida mediante una piedra de carburo de silicio que funciona de manera similar a una piedra de esmeril. Al girar dicha piedra la materia prima se transforma en una pasta fibrosa (pulpa). La pasta así formada es arrastrada fuera del molino por un flujo de agua que es asperjado en la superficie de la piedra y que a su vez absorbe el calor desprendido por fricción. La pasta obtenida es depurada en cribas centrífugas y de aquí enviada a una operación de blanqueo en donde se trata con una solución de hidrosulfito de zinc.

En los procesos mecánicos la lignina y otros residuos no son removidos (a diferencia de los procesos químicos), por lo que la producción de pulpa es cercana al 95 % de la materia prima original [8], la desventaja es que al ser un método mecánico las fibras de celulosa se rompen y dañan, esto y la presencia de la lignina hacen que el papel fabricado con esta pulpa sea de menor calidad que la producida mediante procesos químicos. La pulpa mecánica semiblanqueada es generalmente utilizada para la elaboración de papel periódico.

DIAGRAMA 1 ELABORACIÓN DE CELULOSA AL SULFATO

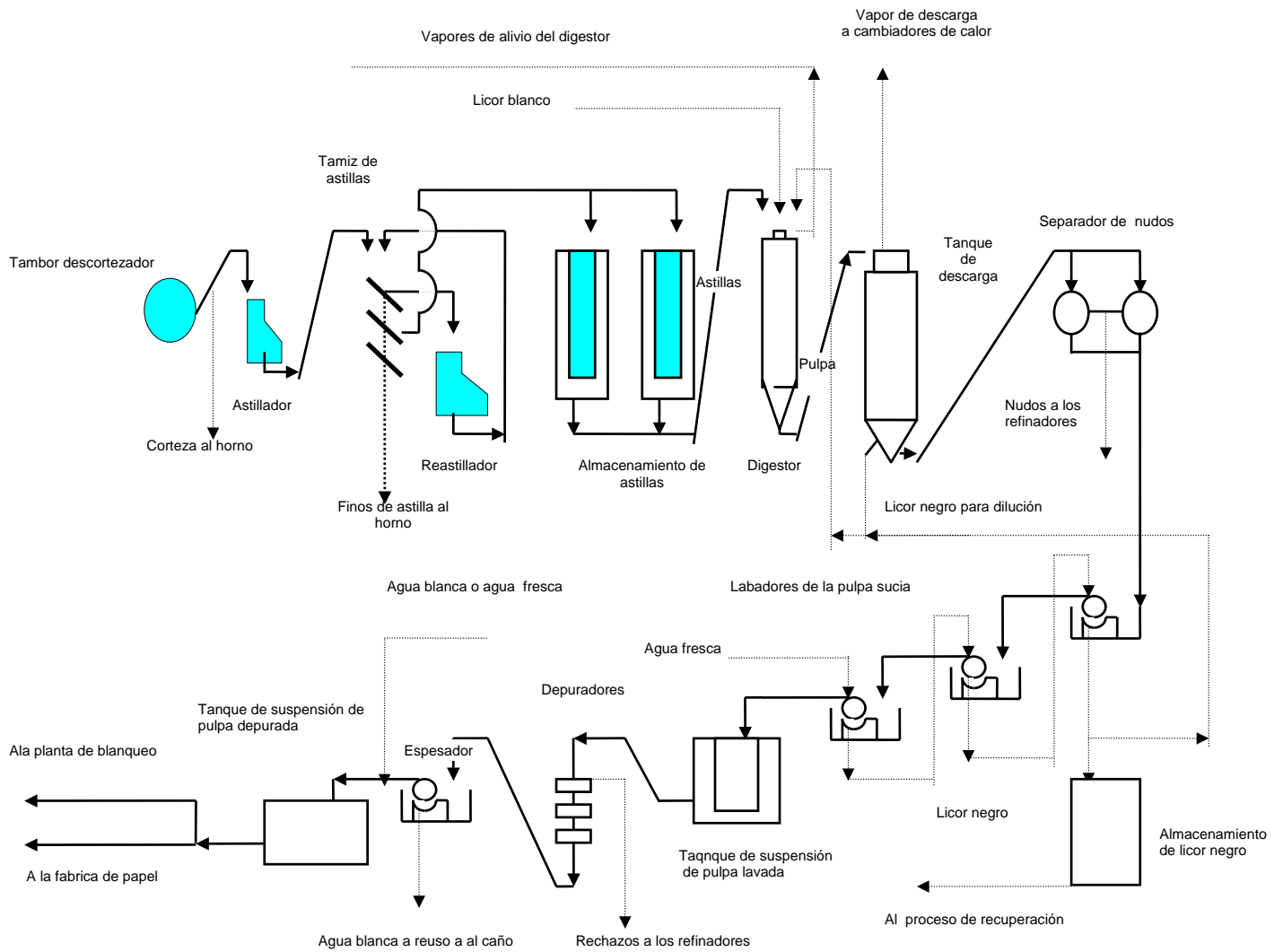


DIAGRAMA 2 ELABORACIÓN DE CELULOSA AL SULFITO

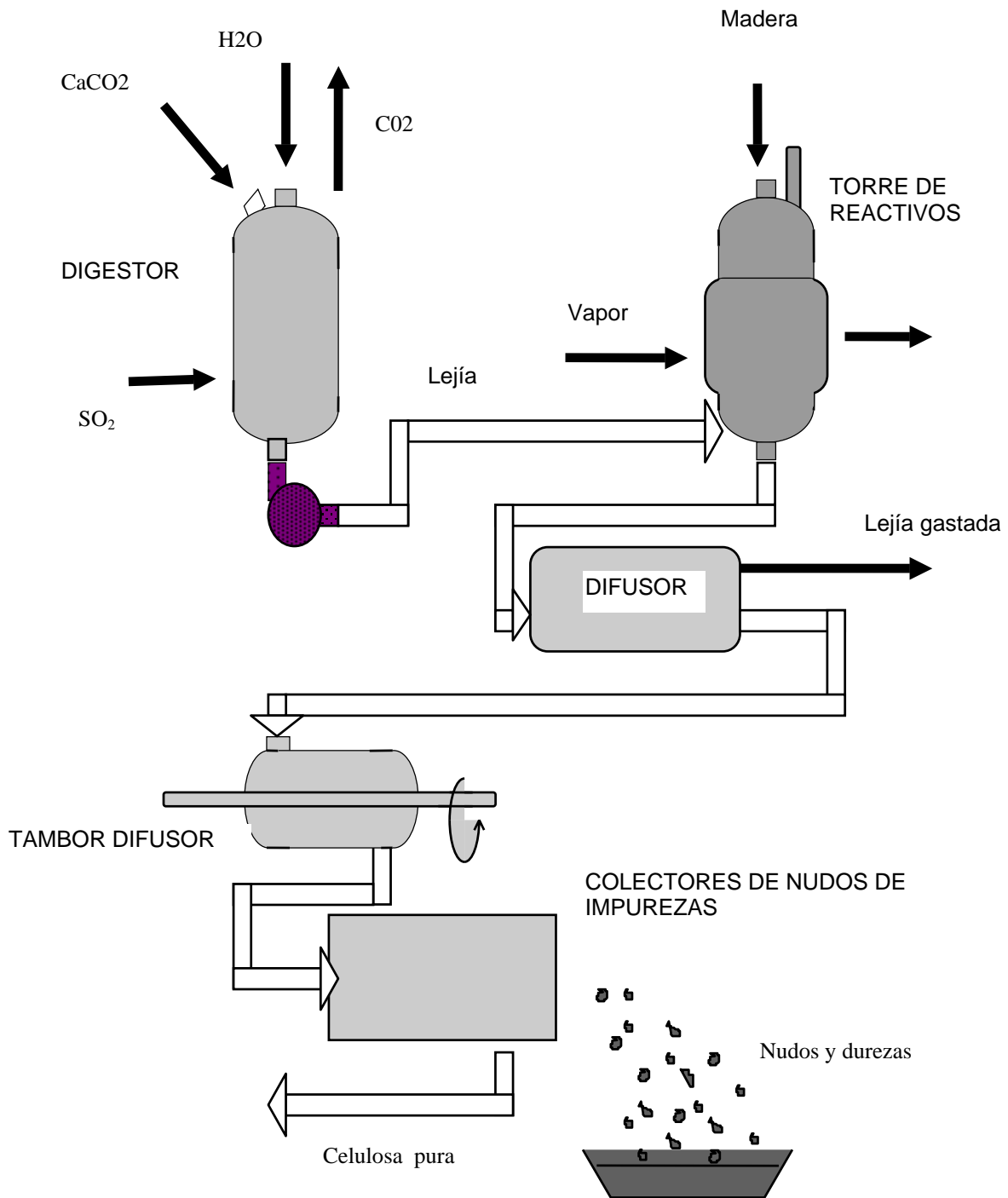
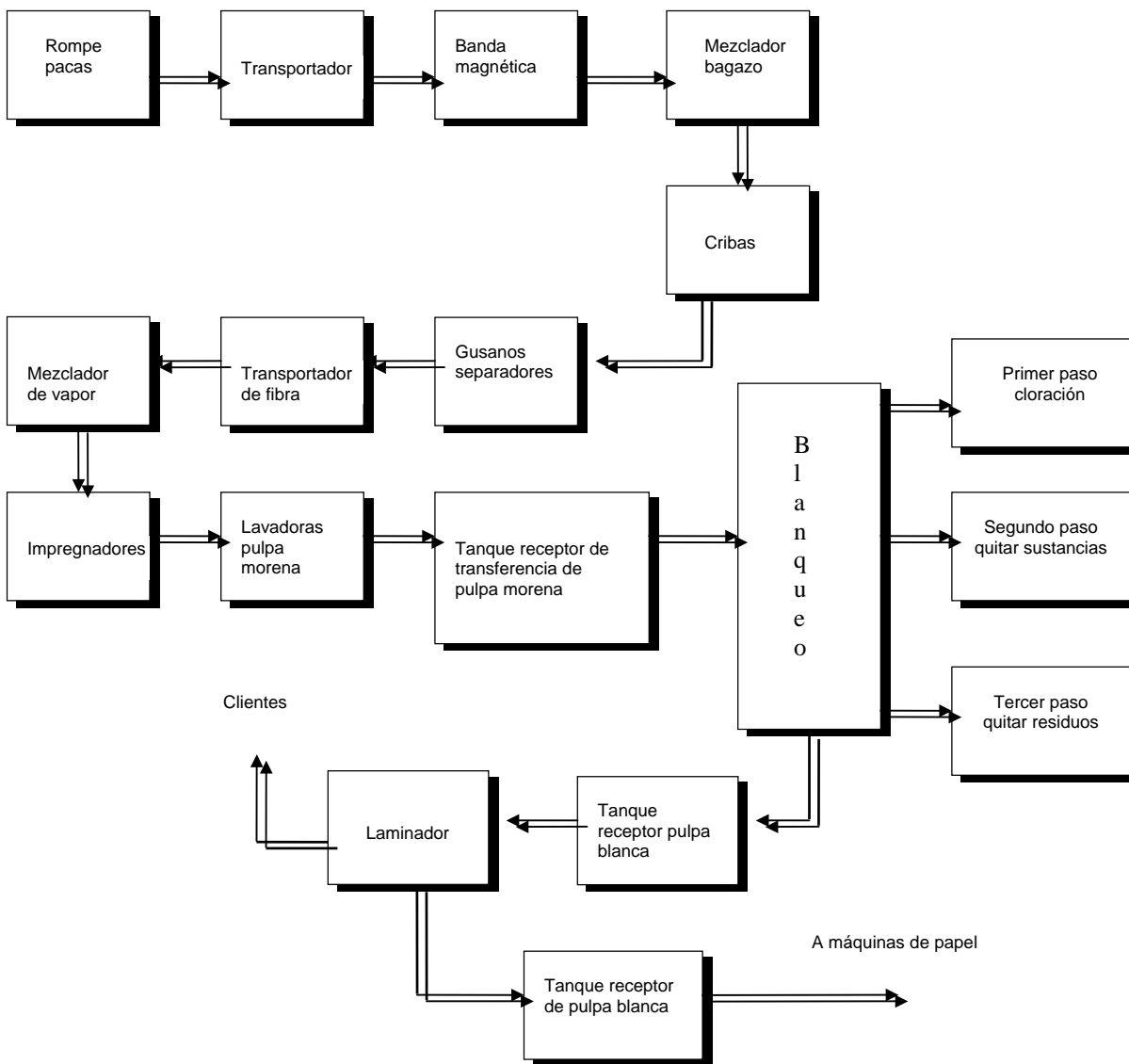


DIAGRAMA 3 ELABORACIÓN DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA



En los procesos de fabricación de pulpa por medios mecánicos, el principal consumo de energía es el referente al consumo eléctrico ya que los molinos de piedra requieren aproximadamente 1285 Kwh[21] por tonelada de pasta cruda producida.

### 1.2.2.3 Procesos termomecánicos.

Existen procesos en los que son combinados métodos mecánicos con químicos, con los que se producen pulpas con diversas calidades. Dentro de estos métodos podemos mencionar el termomecánico y el químico termomecánico; en el primero de estos, las astillas de madera se suavizan con vapor antes de ser refinada: Este proceso produce papel que es relativamente más resistente que el producido por procesos puramente mecánicos, pero es menos resistente que el producido por procesos químicos.

En los procesos químico-termomecánicos la materia prima celulósica (bagazo desmedulado de caña de azúcar o astillas de madera) se introducen en una tolva, la cual descarga a un alimentador de tornillo. El alimentador obliga a entrar al material celulósico por un tubo digestor, el cual se encuentra presurizado por la adición de sosa / sulfito de sodio a fin de que a su paso a través del digestor se produzca una deslignificación moderada. La adición simultánea de vapor y reactivos químicos hace que la potencia requerida en la etapa de desfibrado sea menor.

La pasta ablandada que sale del digestor se lava y depura para pasar al proceso de desfibrado, que se realiza en un tándem de refinadores. Este último proceso ha sido de gran aceptación debido a que presenta altos rendimientos y pulpas de excelente calidad, además de bajos costos de operación.

Como se puede apreciar, la energía utilizada en el proceso de producción de pulpas depende en gran parte de la técnica utilizada, así como también dependerá de la adaptación de nuevas tecnologías que pudieran hacer posible la reducción del consumo de energía.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación del papel por grupos indicando la pulpa utilizada para su elaboración.

**Tabla 1.2 Clasificación del papel por grupos**

grupo (uso)	sub- grupo (gramaje)	materia prima (basica)	tipo (uso y gramaje)	límite por tipo (g/m <sup>2</sup> )
impresión y Escritura	Papel < 150 gm/m <sup>2</sup>	P.B.	aéreo y copia	30-33
			bond	45-120
			recubierto	60-120
		P.S.B.	recubierto	60-120
			ediciones	48-120
		periódico	45-55	
	Cartulina 150<600 g/m <sup>2</sup>	P.B.	cartulina	150-250
			cartulina recubierta	320-600
P.S.B.		cartulina recubierta	320-600	

Tabla 1.2 continuación

Empaques	Papel <150 g/m <sup>2</sup>	F.R., P.N., P.B.	sacos	70-165
			bolsas	45-90
			envolturas	20-60
			liner	135-380
			corrugado	130-135
	Cartoncillo 150<600 g/m <sup>2</sup>	P.N., F.R.,P.B.	duplex	300-600
			duplex recubierto	300-600
			gris y colores	150-300
sanitario y Facial	Papel <150 g/m <sup>2</sup>	P.B., P.S.B., P.N. F.R.	higiénico	16-22
			pañuelos	16-22
			servilletas	19-26
			toallas	21-43
Especialidades	Papel <150 g/m <sup>2</sup>	P.B., P.S.B., P.N.		10-600
	Cartulinas 150<600 g/m <sup>2</sup>			

Fuente: : Coonsumo de energía en la Industria de la celulosa y el papel , PEMEX

P.B.-pulpas blancas

P.S.B.- Pulpa semi- blanca(incluye pasta mecánica, semiquímica, etc.)

P.N. -pulpa de color natural (sin blanquear)

F.R.- fibra regenerada.

En México se producen las siguientes pulpas vírgenes, las cuales pueden someterse a un proceso de blanqueo de acuerdo a su aplicación.

- a) Pulpa mecánica (proveniente de madera de coníferas).
- b) Pulpa termomecánica (de madera de coníferas y especies latifoliadas).
- c) Pulpa química de madera (al sulfato y a la sosa)
- d) Pulpa química de plantas anuales (obtenida mediante el conocimiento alcalino de bagazo de caña de azúcar o de pajas de cereales).

### 1.2.3 Blanqueado.

La mayoría de las pulpas producidas son de color café - amarillento, pero las pulpas obtenidas por métodos mecánicos son más oscuras que las obtenidas por métodos químicos. De acuerdo al destino del papel que se desea fabricar es el nivel de tratamiento que se les aplica a las pulpas, ya que por ejemplo, si el papel a fabricar será utilizado para escritura requiere ser blanqueado completamente, el papel destinado a papel periódico requiere un blanqueado ligero y el cartón corrugado por lo general no requiere ser blanqueado. El proceso de blanqueado se debe realizar de manera cuidadosa para evitar dañar las fibras de celulosa.

El blanqueado y brillantez de papel se logra mediante la alteración y/o eliminación de la lignina (causante del color oscuro). Las pulpas químicas contienen bajas concentraciones de lignina por lo que estas son blanqueadas mediante la eliminación de esta, estas pulpas reciben tratamientos alternativos con agentes oxidantes y soluciones alcalinas. Estas pulpas no requieren de ningún tratamiento de blanqueado cuando son utilizadas para la fabricación de papel periódico.



Las pulpas mecánicas reciben tratamientos con peróxido de hidrógeno o hidrosulfito de sodio para disminuir el color oscuro sin eliminación de la lignina.

El proceso de blanqueado utiliza aproximadamente 7%[8] de la energía total utilizada en la producción de papel, dependiendo este porcentaje de la pulpa utilizada y grado de blanqueado que sea requerido. En la actualidad existe una gran variedad de técnicas que reducen este consumo de energía.

#### **1.2.4 Recuperación química.**

Los procesos químicos que se realizan para la elaboración de pulpas (método Kraft y al Sulfito), requieren de una gran cantidad de sustancias químicas, la recuperación de dichas sustancias una vez concluido el proceso, es de gran importancia para la industria, ya que representan ahorros económicos al ser usadas nuevamente. Además en el proceso de recuperación de estas sustancias también se recuperan subproductos (desechos) de la madera o materia prima utilizada, que sirve como fuente de energía (combustible) para la propia industria.

El licor negro que se produce en el proceso de elaboración de las pulpas se concentra en evaporadores y se utiliza como combustible para las calderas las cuales podrían estar conectadas a sistemas de cogeneración. La cantidad de químicos que se pierden durante los procesos de recuperación es muy pequeña, por lo que el llevar a cabo estos procesos resulta benéfico tanto para la industria misma como para la conservación del medio ambiente. La recuperación química utiliza aproximadamente el 19 % de la energía total utilizada en la fabricación del papel[8].

### **1.3 FABRICACIÓN DEL PAPEL**

El proceso de fabricación depende considerablemente del tipo de papel que se desee fabricar, de manera muy general, se puede decir que la manufactura del papel comprende operaciones esencialmente mecánicas que se pueden resumir en cinco pasos elementales que son los siguientes:

- Preparación de las pastas
- Formación de papel
- Prensado
- Secado
- Terminado

#### **1.3.1 Preparación de pastas:**

Las diferentes etapas que se incluyen en este proceso pueden variar por un lado de acuerdo al tipo de pulpa y estado físico en que se recibe (como suspensión o en pliegos, blanqueada o sin blanquear) y por el otro al tipo de papel que se fabricará.

El proceso de preparación de pastas cubre en general, operaciones tales como la recepción y almacenamiento de materias primas, el repulpeo, limpieza y refinación del material celulósico antes de su entrega a la maquina formadora de papel.

Las materias primas consisten ya sea de pulpas vírgenes de celulosa, fibras secundarias encolantes y cargas. Las fibras vírgenes provienen del pulpeo de maderas o de plantas anuales, y dependiendo tanto del grado de integración productiva (astillas, celulosa, papel), como del papel a manufacturar, éstas se reciben ya sea como suspensión o como pliegos, los cuales pueden estar blanqueados o sin blanquear. Por otra parte las fibras secundarias o fibras recobradas son las que se obtendrán del reprocesamiento de cartón y papel de desperdicio.

Los encolantes son sustancias que tienen como objetivos principales otorgar al papel propiedades permeables, aumentar su resistencia a la tensión, al doblez, a la explosión y, junto con las cargas propiciar una superficie que sea adecuada a la escritura e impresión. Las cargas además de la función ya mencionada son materiales de relleno cuya función es la de ocluir los huecos que de manera natural se originan al momento de unirse las fibras de celulosa en la sección de formación de la máquina de papel.

En el proceso de repulpeo se convierte en una suspensión fibrosa o pasta a todo aquel material celulósico que se recibe en forma seca, adicionando la cantidad de agua adecuada en un hidrapulper o molino, que es un recipiente metálico, de forma cilíndrica vertical, en cuyo fondo se encuentra un rotor o rodete, acoplado por lo general a un motor eléctrico. El continuo accionar de dicho rotor origina que los diferentes materiales en estado sólido se abran dejando a su vez en libertad las fibras de celulosa. La descarga de la pasta, cuya consistencia (proporción de fibra en agua) es cercana al 5%, se realiza a través de una placa perforada ubicada en el fondo del hidrapulper. Es importante mencionar que durante la operación de repulpeo se efectúa la adición de polvos minerales (cargas) así como un encolado interno de las fibras. Este caso particular de encolado se lleva a cabo agregando breas de colofonia, saponificadas y alumbre (sulfato doble de potasio y aluminio hidratado) como dispersante de dicha brea.

Terminado el repulpeo, es necesario realizar una depuración o limpieza de la suspensión obtenida con el fin de retener partículas indeseables, que pudieran dañar la maquina de papel (o afectar la calidad del papel que requiera cumplir con estándares de limpieza muy elevados). Entre los dispositivos de limpieza mas usuales se encuentran los hidrociclones, éstos son recipientes de fondo cónico en cuya parte superior se suministra tangencialmente y bajo presión la suspensión fibrosa diluida aproximadamente a 2.5% de consistencia. La fuerza centrífuga proporcionada proyecta a las partículas más pesadas que la fibra contra las paredes del recipiente provocando que descendan hasta el fondo de este, donde son desechadas.

Las fibras de celulosa tal y como salen del paso de depuración no son apropiadas para la manufactura del papel, por lo que deben someterse a un tratamiento de modificación superficial, esta modificación se realiza al pasar a través de equipos denominados batidores o refinadores.

Durante la refinación, las fibras de celulosa se separan e hidratan a plenitud y se cortan aprovechando que en este momento las fibras se encuentran hinchadas debido a la absorción de la humedad, lo que las hace flexibles y manejables.

Con la refinación se incrementa la capacidad de adhesión debido a la modificación originada en la superficie, por lo tanto, los papeles hechos con pastas altamente refinadas son densos, duros y mucho más resistentes que los papeles hechos con pastas poco refinadas.

Con el envío de la pasta refinada al tanque de máquina, se dan por concluidas las operaciones asignadas al área de preparación de pastas.

### 1.3.2 Formación

Ya preparada la pulpa, ésta debe ser transformada en hojas. La fabricación de papel inicia con una suspensión muy diluida (menos de una parte de fibra por 200 partes de agua). Existen (de manera más común) dos máquinas mediante las cuales esta suspensión se convierte en una hoja de papel estas son: La máquina de Fourdrinier y la máquina de cilindros, siendo ambas un proceso continuo.

La máquina de Fourdrinier (ver diagrama No. 4), consiste básicamente de una malla sin fin, la cual se desplaza a velocidades que oscilan desde una decena de metros por minuto hasta cerca de 1500 metros por minuto, conforme la pulpa avanza sobre la malla está va perdiendo humedad a pasar la malla sobre cajas de succión y rodillos de mesa, produciéndose simultáneamente el entrelazamiento de las fibras para formarse de esta manera la hoja de papel (ver diagrama 4). La hoja de papel resultante es todavía muy húmeda a 20 % [1] de consistencia aproximadamente, por lo que a través de un transportador de fieltro de lana, se conduce a varios juegos de prensados en donde pierde más humedad también en forma mecánica (operación de prensado).

La máquina de cilindros difiere de la de Fourdrinier principalmente en la sección de formación de la hoja, ya que en lugar de tener una malla continua se utiliza una serie de fieltros cilíndricos que giran a gran velocidad periférica (aproximadamente 125 metros por minuto) y cuyo diámetro no es mayor de 91 cm. Cada uno de los cilindros se encuentra parcialmente sumergido en una tina en la cual se encuentra la suspensión fibrosa diluida, de esta manera conforme los cilindros giran, se forma una delgada capa de papel en su superficie. Al llegar a la parte superior del cilindro la hoja se separa y se adhiere a una lona que circula a lo largo de la sección de formación de la máquina. Ya que cada uno de los cilindros funciona de igual manera se obtiene al final de la operación una hoja de elevado gramaje\*\*. El papel formado con esta máquina se destina principalmente a la manufactura de papeles de empaque.

---

\*\* Gramaje: Peso del papel expresado en gramos por metro cuadrado.

### 1.3.3 Prensado.

Después del proceso de formación la hoja contiene todavía una gran cantidad de humedad. Esta humedad es removida prensando la hoja por medio de cilindros mecánicos. Después de esta etapa la consistencia de la hoja es normalmente de 35 a 45 %. [1].

Es importante mencionar, que la mayor parte de las medidas de ahorro de energía para la manufactura de papel se han enfocado a la optimización de la operación de prensado, con base en que la forma más sencilla y económica de eliminar la humedad es mecánicamente. Como regla práctica se tiene que por cada uno por ciento de reducción de humedad en la sección de prensado, se obtendrá un incremento del cuatro por ciento en la capacidad de evaporación del tren de secado (ver siguiente punto) de la maquina de papel.

### 1.3.4 Secado.

El secado se lleva acabo poniendo la hoja de papel sobre un fieltro y transportando esta alrededor de unos secadores de vapor donde las características superficiales de la hoja son determinadas. En algunas ocasiones se utilizan sustancias químicas para obtener propiedades superficiales específicas. Después del secado la máquina de papel forma rollos con las hojas obtenidas.

Con el fin de incrementar la capacidad de evaporación de la sección de secado, es común utilizar una serie de quemadores a gas, los cuales permiten insuflar aire ambiente a temperaturas cercanas a los 120°C. Otra alternativa, es la utilización de gases de combustión del área de calderas de la fábrica.

### 1.3.5 Terminado

Como último paso en la fabricación del papel, se recibe un tratamiento de calandreado antes de ser transportado a almacén, esto con el fin de ajustar tanto el calibre como la lisura de la hoja, y dependiendo de las características deseadas, se le puede adicionar un recubrimiento de pintura por una o ambas caras.

Los carretes de papel obtenidos se re-enrollan en pequeños carretes de diferentes anchos para su uso final. Otra operación de terminado es cortar la hoja en tamaños específicos. La operaciones y grado de terminado es función del producto obtenido, así como del uso final.

La energía utilizada en cada uno de las etapas de la producción de celulosa y papel variará dependiendo como ya se menciona del tipo de proceso utilizado para la obtención celulosa así como del tipo de papel que se fabricará con estas, pero también es necesario mencionar que las condiciones de operación de las empresas influyen en el consumo energético final de la industria, ya que una planta en excelentes condiciones tendrá un mejor aprovechamiento de la energía que una que no opere en condiciones óptimas.

En las tablas 1.3 y 1.4 se muestran los valores promedios del consumo de energía para los diferentes pasos que se llevan a cabo en la elaboración de la celulosa y el papel [8 ]

**Tabla 1.3 Energía promedio utilizada en los diferentes pasos realizados para la elaboración de la celulosa.**

<b>ELABORACIÓN DE CEULOSA</b>	<b>ENERGIA PROMEDIO (Petajoules/tonelada)</b>
Preparacion de la madera	<b>0.53x10<sup>-10</sup></b>
Elaboracion de las pulpas	
Pulpeo	
Kraft	<b>8x10<sup>-9</sup></b>
Al Sulfito	<b>9x10<sup>-9</sup></b>
Termomecánico	<b>2x10<sup>-8</sup></b>
Mecánico	<b>15x10<sup>-9</sup></b>
Blanqueado	<b>7x10<sup>-9</sup></b>
Recuperacion química	
Kraft	<b>10x10<sup>-9</sup></b>
Sulfito	<b>7x10<sup>-9</sup></b>

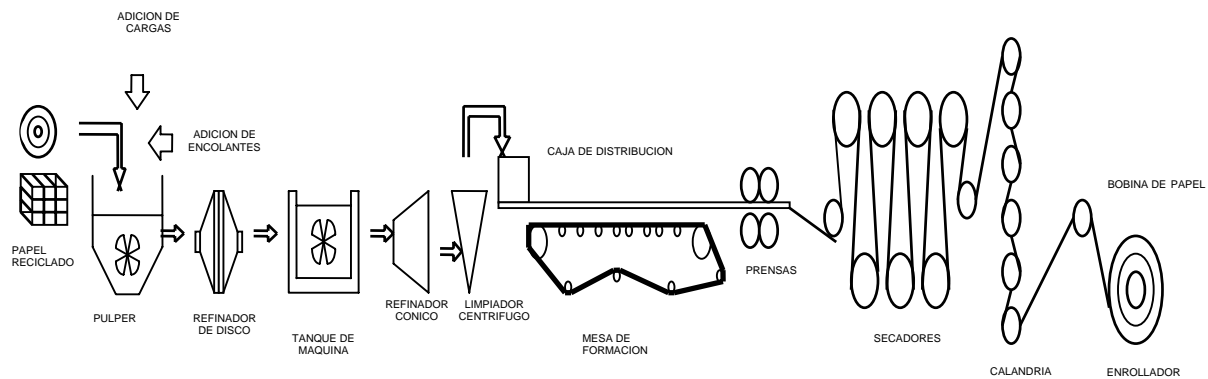
Fuente: Revista Industrial Energy Efficiency

**Tabla 1.4 Energía promedio utilizada en los diferentes pasos realizados para la elaboración de papel**

<b>ELABORACIÓN DE PAPEL</b>	<b>ENERGÍA PROMEDIO (Petajoules/tonelada)</b>
Fabricación del papel	<b>3x10<sup>-9</sup></b>
Almacenamiento y preparación	<b>0.32x10<sup>-9</sup></b>
formación	<b>3x10<sup>-9</sup></b>
prensado	<b>0.32x10<sup>-9</sup></b>
secado	<b>7x10<sup>-9</sup></b>

Fuente: Revista Industrial Energy Efficiency

DIAGRAMA 4 MAQUINA DE FOURDRINIER



## CAPITULO II

### METODOLOGÍAS DE ÍNDICES DE CAMBIO

#### 2.1 IMPORTANCIA Y PLANTEAMIENTO GENERAL

El estudio del consumo de energía en la industria, es un tema que cada día adquiere mayor importancia, debido a que un mejor aprovechamiento de la energía primaria, trae consigo beneficios económicos, que se ven reflejados en ahorro de combustibles, así como también beneficios ambientales para toda la humanidad, ya que una gran cantidad de contaminantes son emitidos hacia la atmósfera, debidos a la combustión de los diferentes combustibles necesaria para la generación de energía térmica y eléctrica.

Un aspecto común en la mayoría de los diferentes trabajos que se han realizado para el estudio de las tendencias históricas del uso de energía en el sector industrial, es que la actividad de un sector es frecuentemente medida usando parámetros económicos. Aunque los parámetros económicos son útiles para realizar modelos macroeconómicos de demanda de energía, estos conceptos no proporcionan un claro significado de la eficiencia energética, es decir no proporcionan una clara visión de que factor o factores tienen un efecto directo en el cambio del consumo energético que se presenta al transcurrir el tiempo.

Diversos estudios[2,16] han mostrado que la estructura del uso de la energía cambia substancialmente en el tiempo en respuesta a diversos factores como podrían ser introducción de nuevas tecnologías, cambios en precios de combustibles, políticas de conservación y uso eficiente de los recursos naturales. Uno de estos enfoques metodológicos que se utilizará en este trabajo es el conocido como por usos finales, el principio en el que se basa esta metodología, es la explicación de la demanda de energía a partir de las necesidades de su uso y no de la oferta agregada de la misma, es decir a partir de las necesidades energéticas o usos finales.

De acuerdo con este principio los cambios en el uso de energía para un determinado sector pueden ser atribuidos a tres factores que son los siguientes: crecimientos en la actividad, cambios en la razón de actividades específicas de una determinada actividad y cambios en la intensidad energética. Expresando el consumo de energía mediante estos factores, es posible obtener índices de cambio que determinan el uso de la energía en un sector determinado. Uno de estos índices\* arrojados por esta metodología son los índices de Laspeyress que se presentan en la siguiente sección.

Otra metodología que se basa en el mismo principio que la metodología de usos finales es la utilizada por Farla, et al[16] en la cual, estos autores consideran que el concepto de usar factores físicos de la actividad para explicar el comportamiento a través del tiempo del consumo energético de un país es más útil que el de usar parámetros económicos. Los detalles de esta metodología se presentan en la sección 2.3.

---

\* Esta metodología arroja principalmente dos índices de cambio: el de Laspeyress y el de Divisa[2]

Este trabajo analiza la evolución del consumo de energía desde 1965 hasta el 2001 para la industria de la Celulosa y el Papel, para esto, se hará uso de las dos metodologías mencionadas, mediante las cuales se determinará que elementos provocaron la variación en el consumo de energía en dicha industria.

La selección de estas metodologías se debe a que en ambas los factores físicos a los cuales pueden ser atribuidas las variaciones en el consumo de energía son los siguientes: cambios en la actividad, cambios en la estructura y cambios en la intensidad energética, definiendo cada uno de estos factores de la siguiente manera:

**Cambios en la actividad:** Son las variaciones presentadas en la producción total de celulosa más papel. Se toma la producción total de celulosa más papel, debido a que los datos de consumo de energía para la industria no se reportan desglosados en consumo de energía para la elaboración de celulosa y consumo de energía para la elaboración de papel.

**Cambios estructurales:** Son los cambios en la producción total de las diferentes celulosas con respecto a la producción total de los diferentes tipos de papel. La estructura se determina de esta manera, debido a que no existen los datos de consumo energético por tipo de celulosa y por tipo de papel.

**Cambios en eficiencia:** Son los cambios en el consumo unitario de energía por unidad de producción de papel y celulosa (Consumo energético / tonelada de celulosa y papel). Se le denomina también intensidad energética.

A continuación se describirá cada una de las dos metodologías utilizadas:

## **2.2 INDICES DE LASPEYRES (METODOLIGÍA I)**

La primera metodología presenta un análisis de descomposición basado en la obtención de los índices de Laspeyres, cuya obtención se hace con base a un año fijo[2].

El análisis del comportamiento del consumo de energía para la industria de la celulosa y el papel se realizará para los años comprendidos entre 1965 y el 2001, para esto se cuenta con los datos correspondientes del consumo energético de fuentes fósiles total anual para dicha industria. Se cuenta también con el consumo eléctrico anual de la industria, información por medio de la cual se obtendrá el consumo de energía primaria, considerando, de acuerdo con el Balance de Energía 2002 la eficiencia en el proceso de generación eléctrica de un 35% [33]. También se cuenta los datos de producción de celulosa y papel para cada año. Todos los datos mencionados se presentan en el apéndice B.

De acuerdo con esta metodología, para obtener los índices de Laspeyres se seguirá el procedimiento que a continuación se describe:



La energía consumida por la industria de la celulosa y el papel en un año  $t$  cualquiera, esta dada por la siguiente relación:

$$E_t = P \left( \frac{E}{P} \right) \left( \frac{P_c}{P_p} \right) \dots\dots\dots(2.1)$$

donde  $P$  es la producción total de Celulosa y Papel en el año  $t$ ,  $(E/P)$  se refiere a la intensidad energética y  $(P_c/P_p)$  se refiere a la estructura, donde  $P_c$  y  $P_p$  son la producción de celulosa y papel respectivamente, correspondientes al año  $t$ .

Para determinar que factor o factores de los ya mencionados fueron determinantes en el cambio del consumo de energía mediante los índices de Laspeyres, se realiza una aproximación manteniendo dos variables fijas, considerando que solamente la tercera sufrió cambio, de esta manera y según la relación (2.1) presentada, se tiene que si solamente hubiera habido cambios en la actividad, tendríamos la siguiente relación (recordando que se mantendrá fija la intensidad y la estructura en el año  $t_0$ )

$$\begin{aligned} \% \Delta E_a &= \frac{P_t \left( \frac{E_0}{P_0} \frac{P_{C_0}}{P_{P_0}} \right) - P_0 \left( \frac{E_0}{P_0} \frac{P_{C_0}}{P_{P_0}} \right)}{P_0 \frac{E_0}{P_0} \frac{P_{C_0}}{P_{P_0}}} = \frac{P_t}{P_0} - 1 \\ &\quad \therefore \\ \% \Delta E_a &= \frac{P_t}{P_0} - 1 \dots\dots\dots(2.2) \end{aligned}$$

Las variables con subíndice "0" nos indican los valores de éstas para el año base y los subíndices "t" de dichas variables, su correspondiente valor en el año  $t$ .

Por lo que la variación porcentual del consumo de energía con respecto a la actividad ( $\% \Delta E_a$ ) dependerá únicamente de la producción correspondiente al año  $t$  ( $P_t$ ) y de la producción en el año base  $P_0$ .

Para observar el efecto de la estructura sobre la variación en el consumo de energía, se supone que únicamente esta variable presento cambios de un año otro, manteniendo constante en este caso la actividad y la intensidad para el año  $t=0$ , de tal manera que la variación porcentual de la energía con respecto a la estructura ( $\% \Delta E_e$ ) queda determinada por la siguiente relación:

$$\% \Delta E_e = \frac{P_t \left( \frac{E_0}{P_0} \frac{P_{Ct}}{P_{Pt}} \right) - P_0 \left( \frac{E_0}{P_0} \frac{P_{C_0}}{P_{P_0}} \right)}{P_0 \frac{E_0}{P_0} \frac{P_{C_0}}{P_{P_0}}} = \frac{\frac{P_{Ct}}{P_{Pt}}}{\frac{P_{C_0}}{P_{P_0}}} - 1$$

∴

$$\% \Delta E_e = \frac{\frac{P_{Ct}}{P_{Pt}}}{\frac{P_{C_0}}{P_{P_0}}} - 1 \dots \dots \dots (2.3)$$

que como vemos dependerá del cociente de la estructura en el año t (P<sub>Ct</sub>/ P<sub>Pt</sub>) y de la estructura en el año base (P<sub>C0</sub>/P<sub>P0</sub>).

Y finalmente par analizar el efecto de la intensidad energética en el consumo de energía siguiendo el mismo procedimiento, mantendremos constante la actividad y la estructura para el año base t=0, y se supondrá que la intensidad energética varío al transcurrir el tiempo, por lo que llegamos a la siguiente relación :

$$\% \Delta E_{int} = \frac{P_0 \left( \frac{E_t}{P_t} \frac{P_{C_0}}{P_{P_0}} \right) - P_0 \left( \frac{E_0}{P_0} \frac{P_{C_0}}{P_{P_0}} \right)}{P_0 \frac{E_0}{P_0} \frac{P_{C_0}}{P_{P_0}}} = \frac{\frac{E_t}{P_t}}{\frac{P_0}{P_0}} - 1$$

∴

$$\% \Delta E_{int} = \frac{\frac{E_t}{P_t}}{\frac{E_0}{P_0}} - 1 \dots \dots \dots (2.4)$$

Quedando definida la variación porcentual del consumo de energía con respecto a la intensidad (%ΔE<sub>int</sub>) en función de la intensidad energética para el año t (E<sub>t</sub>/P<sub>t</sub>) y de la intensidad energética para el año base (E<sub>0</sub>/P<sub>0</sub>).

Haciendo uso de estas relaciones, es posible determinar que factor o factores (ya sea n actividad, estructura o intensidad energética ) tuvieron mayor efecto en la variación presentada en el consumo energético para los años comprendidos entre 1965-2001, y la variación porcentual del cambio en el consumo de energía quedará determinada por la siguiente relación:

$$\% \Delta E = \% \Delta E_a + \% \Delta E_e + \% \Delta E_{int} + R \dots \dots \dots (2.5)$$

Donde R es en termino residual.

Esta metodología se extenderá para el estudio de la evolución de emisiones de dióxido de carbono por la industria en cuestión. Los factores físicos que determinaran la variación en emisiones de CO<sub>2</sub> serán los tres factores que determinan la variación del consumo de energía (actividad, estructura e intensidad energética), y además se tienen que tomar en cuenta los efectos en la configuración por fuentes de la energía final y de la energía primaria, esto es el efecto que produce sobre la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> el cambio en la cantidad utilizada de los diferentes combustibles utilizados como fuente de energía final y los efectos del cambio en la mezcla de combustible utilizados para la generación de electricidad, estos factores tienen que ser tomados en cuenta debido a que cada combustible presenta un índice de emisiones de CO<sub>2</sub> distinto, motivo por el cual la configuración por fuentes energéticas tiene un efecto directo sobre las emisiones. De tal forma que las emisiones de CO<sub>2</sub> que denotaremos como **C** quedan expresadas mediante la siguiente relación[19]:

$$C = P \sum_j \left( \frac{C_j}{E_j} \right) \left( \frac{E_j}{E} \right) \left( \frac{E}{P} \right) \left( \frac{P_c}{P_p} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Donde C<sub>j</sub>/E<sub>j</sub> es el coeficiente de emisión de la forma de energía j en el año t, E<sub>j</sub>/E representa la mezcla final de combustible que varia sobre el porcentaje de uso de la forma de energía j en el año t, P es la producción total en el año t, E/P corresponde a la intensidad energética y P<sub>c</sub>/P<sub>p</sub> es la estructura.

El coeficiente C<sub>j</sub>/E<sub>j</sub> se considera constante a lo largo del tiempo para cada uno de las diferentes fuentes de energía fósil, y varia con el tiempo para la electricidad, debido a que para la generación eléctrica los porcentajes de los diferentes combustibles utilizados varia año con año.

Para determinar que factor es determinante en el cambio de emisiones de CO<sub>2</sub> se realiza un proceso similar al presentado anteriormente. Las variaciones en emisiones con respecto a la actividad (%ΔC<sub>a</sub>), estructura (%ΔC<sub>e</sub>), e intensidad (%ΔC<sub>int</sub>) quedaran definidas de la misma forma en que quedaron definidas para las variaciones del consumo de energía con respecto a cada uno de estos factores, por lo tanto las variaciones en emisiones con respecto a los nuevos factores considerados quedarán definidos por las siguientes relaciones:

Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al cambio en el uso final de combustible (%ΔC<sub>cam-uso-final</sub>).

$$\% \Delta C_{cam-uso-final} = \left[ \sum_j \frac{C_{j0}}{C_0} \left( \frac{\frac{E_{jt}}{E_t}}{\frac{E_{j0}}{E_0}} \right) \right] - 1 \dots\dots\dots(2.7)$$

Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al cambio en combustible primario (% $\Delta C_{cam-comb-prim}$ ).

$$\% \Delta C_{cam-comb-prim} = \left[ \frac{\sum_j \frac{E_{jt} \cdot IE_j}{C_o}}{\frac{C_t}{E_{j0} \cdot IE_j}} \right] - 1 \dots \dots \dots (2.8)$$

Donde  $IE_j$  representa el índice de emisiones para la fuente energética  $j$

Por lo tanto la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto al año base  $t_0$  quedará determinada por la siguiente relación:

$$\% \Delta C = \% \Delta C_a + \% \Delta C_e + \% \Delta C_{int} + \% \Delta C_{cam-uso-final} + \% \Delta C_{cam-comb-prim} + R \dots \dots \dots (2.9)$$

Donde  $R$  es un término residual.

### 2.3 INDICES DE ACUERDO A LA METODOLOGÍA UTILIZADA POR FARLA ET AL (METODOLOGÍA II).

La segunda metodología que se utiliza para analizar la variación en el consumo de energía de la industria de la celulosa y el papel en México, se basa en un estudio presentado por Farla, Blok y Schipper[16], en el cual son usadas medidas físicas de producción como un indicador de la actividad manufacturera, ya que como se menciono anteriormente se ha demostrado (Farla 1990) que el concepto de indicadores físicos de actividad es útil para el análisis el desarrollo de la eficiencia a lo largo del tiempo para un determinado país

El objetivo principal de aplicar esta metodología es determinar los factores físicos (actividad, estructura o intensidad) que causan los cambios en el consumo de energía en la industria de la celulosa y el papel nacional a través del tiempo.

En general para un producto  $x$  en un determinado proceso, el consumo específico de energía se define de la siguiente manera:

$$SEC = \frac{E_x}{P_x} \dots \dots (2.10)$$

Donde  $E_x$  es el consumo de energía utilizado en la elaboración del producto  $x$  y  $P_x$  es la cantidad de dicho producto (expresada en unidades de masa).

Si la misma industria manufactura distintos productos, entonces el consumo específico agregado sería el siguiente:

$$SEC_{agr} = \frac{\sum E}{\sum P} \dots\dots (2.11)$$

donde  $\sum E$  y  $\sum P$  son el consumo de energía utilizado en la manufactura de los diversos productos y la producción total de dichos productos respectivamente. Estas relaciones solo se utilizan en el caso de que la composición de los productos finales sea constante en el tiempo, lo que en realidad no sucede, por lo que en este análisis se introducirá un factor de “**peso**”, para calcular un índice de producción física **PPI** en lugar de sumar de manera simple, la producción anual de los diferentes productos manufacturados por la industria (diferentes tipos de celulosa y papel para el caso en cuestión).

De acuerdo con la metodología que se utilizará, el índice de producción física **PPI**, queda expresado de la siguiente manera:

$$PPI = \sum (P_x \times \omega_x) \dots\dots\dots (2.12)$$

Donde la producción física de un producto  $x$  es ponderada mediante un factor  $\omega$ . El factor de peso  $\omega$  se elige de tal manera que los productos intensivos en energía tengan un valor mayor que los productos menos intensivos. Los factores de peso de diferentes productos deben de indicar apropiadamente la cantidad de energía necesaria para producir cada uno de los productos. Existen muchas posibilidades para elegir dichos factores, el consumo energético específico (SEC) de los productos en una determinada industria podría ser utilizada, o bien un SEC promedio para cada uno de los productos. Ahora bien si se usa el consumo específico de un producto para una determinada empresa podría distorsionar de manera importante los resultados si por ejemplo dicho valor resultara ser muy alto o muy bajo de acuerdo con las condiciones de operación de la empresa. Por lo que la mejor elección del factor de peso sería aquel consumo específico encontrado para las mejores técnicas disponibles en un específico año.

Una dificultad para encontrar un valor del consumo de energía específico obtenido con las mejores técnicas disponibles es el hecho de que los pasos de los procesos realizados en la industria de la celulosa y el papel son generalmente integrados, por lo que es difícil atribuir parte de un total de energía consumida a uno de los productos. Debido a lo anterior y a que en nuestro país no se tienen valores de consumo específico por tipo de producto, se recurrió a utilizar los consumos de energía específicos para las mejores técnicas disponibles de 1990 que fueron obtenidas mediante un análisis en la industria de la celulosa y el papel a nivel internacional [16].

Debido a todas las dificultades expuestas para obtener los factores de peso, se hace la consideración de que estos sean los mismos para todos los años contemplados en el análisis, de tal manera que el desarrollo del PPI para nuestro país puede tomar la forma de una eficiencia congelada del desarrollo del consumo de energía de la industria de la celulosa y papel.

Ya que el consumo de energía de un sector está relacionado con la producción de salida (actividad), la composición de la salida (mezcla de productos en este caso

celulosa y papel) y la eficiencia del proceso de producción y de acuerdo con la definición de **PPI** podemos escribir la siguiente relación:

$$\sum E = \sum P \times \frac{PPI}{\sum P} \times \frac{\sum E}{PPI} \dots\dots(2.13)$$

Donde  $\Sigma P$  es la suma de la producción total de salida y representa la **actividad**,  $PPI/\Sigma P$  es la **estructura** (relacionada con la diversidad de productos fabricados ) y  $\Sigma E/PPI$  es un indicador de la **eficiencia energética** de los procesos de manufactura en un sector.

La variación del consumo de energía se estimará con base en el cálculo anual de los cambios debidos a la actividad, la estructura y la eficiencia energética, sumados sobre el período de tiempo total considerado, de acuerdo con la siguiente relación:

$$\Delta E_{t,T} = \sum_{t=1}^{T-1} \Delta E_{t,t+1(a)} + \sum_{t=1}^{T-1} \Delta E_{t,t+1(e)} + \sum_{t=1}^{T-1} \Delta E_{t,t+1(int)} + \sum_{t=1}^{T-1} R_{t,t+1} \dots\dots(2.14)$$

Donde  $\Delta E_{t,T}$  representa la variación total en el consumo de energía entre los años  $t$  y  $T$ ,  $\Delta E_{t,t+1(a)}$ , representa la variación del consumo de energía con respecto a la actividad,  $\Delta E_{t,t+1(e)}$  es la variación del consumo de energía con respecto a la estructura y el término,  $\Delta E_{t,t+1(int)}$  se refiere a la respectiva variación con respecto a la intensidad en energía,  $\Sigma R$ , es un termino residual.

En este análisis se estudiará el cambio en el consumo de energía de la industria de la celulosa y el papel nacional que se tuvo durante el período comprendido entre los años 1965 y 2001. Para esto, los datos de producción física manejados son producción total anual de celulosa y producción total anual de papel (expresados en toneladas métricas)

Al igual que en la metodología anterior, para obtener el consumo total de energía primaria, se consideró el consumo total anual de combustibles fósiles empleados por la industria, a este consumo hay que sumarle el consumo de energía primaria utilizado para generar la energía eléctrica consumida por dicha industria, para esto, se considera una eficiencia de generación eléctrica del 35%, como promedio a nivel nacional, de esta manera se obtuvo el consumo de energía primaria debida a energía eléctrica. Obteniendo la suma de estos consumos, se obtiene la energía primaria total consumida por la industria correspondiente a cada año (expresada en Peta- joules).

Por medio de la relación 2.10 se obtendrá el índice de producción física **PPI**. Los factores de peso utilizados para el calculo del PPI se tomaron de acuerdo con los valores presentados por Farla, Blpk y Schipper y la obtención de estos se explica en el apéndice B correspondiente.

Los valores de los factores de peso para diferentes tipos de celulosas considerados son los siguientes[16]:

Celulosa química de madera	1.63x10 <sup>-5</sup>	PJ/ton
Celulosa química de plantas anuales	1.2 x10 <sup>-5</sup>	PJ/ton
Celulosa Mecánica de madera	1.13 x10 <sup>-5</sup>	PJ/ton
Otras	1.2 x10 <sup>-5</sup>	PJ/ton

De igual manera, los factores de peso para los diferentes tipos de papel son:

Escritura e impresión	1.2 x10 <sup>-5</sup>	PJ/ton
Empaque	8.8 x 10 <sup>-6</sup>	PJ/ton
Sanitario y facial	1.1 x10 <sup>-5</sup>	PJ/ton
Especiales	1.05 x 10 <sup>-5</sup>	PJ/ton

De acuerdo con la metodología y como ya se mencionó anteriormente, estos factores de peso permanecerán constantes en el tiempo.

Una vez obtenidos los índices de producción física para cada año, expresados en PJ y mediante la relación correspondiente, se procede a obtener el cambio en el uso de energía para el período analizado, donde la variación de la energía debida a cambios en la actividad se obtendrá como la suma del cambio de energía debida a cambios en la actividad  $\sum P$ , a cambios en la estructura  $\frac{PPI}{\sum P}$  y el cambio debido a la eficiencia energética  $\frac{\sum E}{PPI}$  más un término residual .

De acuerdo con estas definiciones, se obtendrán año con año las variaciones del consumo de energía con respecto a cada uno de los factores en cuestión, durante el periodo seleccionado (1965 -2001). Como ejemplo se muestra a continuación las relaciones utilizadas para obtener los cambios correspondientes a los años 1966, 1965:

Para la variación en el consumo de energía con respecto a la actividad tenemos :

$$\Delta E_a = \frac{P_{C66} + P_{P66}}{P_{C65} + P_{P65}} \dots\dots\dots(2.15)$$

donde P<sub>C65</sub> y P<sub>C66</sub> son la producción de celulosa para los años 65 y 66 respectivamente y P<sub>P65</sub> y P<sub>P66</sub> se refieren a la correspondiente producción de papel.

Para la variación en el consumo de energía con respecto a la estructura

$$\Delta E_e = \frac{\frac{PPI_{66}}{P_{66}}}{\frac{PPI_{65}}{P_{65}}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Donde  $PPI_{66}$  y  $PPI_{65}$  representan el índice de producción física para los años 1966 y 1965 respectivamente y  $P_{66}$  y  $P_{65}$  representan la producción total( producción de celulosa más producción de papel) para el correspondiente año.

Y finalmente para la variación del consumo de energía con respecto a la intensidad tenemos:

$$\Delta E_{int} = \frac{\frac{E_{66}}{PPI_{66}}}{\frac{E_{65}}{PPI_{65}}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Donde  $E_{66}$  y  $E_{65}$  se refieren al consumo de energía total para los años 1966 y 1965 respectivamente.

Mediante estas últimas relaciones podremos obtener las variaciones anuales para cada uno de los factores ya mencionados y determinar cual o cuales de ellos han tenido mayor influencia en la variación del consumo energético, así como también obtener mediante la ecuación 2.12 la variación en el consumo energético en un periodo determinado.

Al igual que en la metodología de los índices de Laspeyress, esta metodología la podemos extender para determinar que factores han determinado el cambio en las emisiones de  $CO_2$  al transcurrir el tiempo, de tal manera que las emisiones de  $CO_2$  para un determinado año quedarán expresadas de la siguiente manera:

$$\sum C = \sum P \left( \frac{PPI}{\sum P} \right) \left( \frac{\sum E}{PPI} \right) \left( \sum \frac{E_j}{PPI} \right) \left( \frac{C_j}{E_j} \right) \dots\dots(2.18)$$

Donde el término  $\sum(E_j/PPI)(C_j/E_j)$  nos representa el cambio de la mezcla de combustible tanto final como primaria y siguiendo el mismo procedimiento que se realizó para la variación en el consumo de energía se tiene que la variación de



emisiones de CO<sub>2</sub> (C) entre los años t y T , quedará expresada por la siguiente relación:

$$\Delta C_{t,T} = \sum_{t=1}^{T-1} \Delta C_{t,t+1(a)} + \sum_{t=1}^{T-1} \Delta C_{t,t+1(e)} + \sum_{t=1}^{T-1} \Delta C_{t,t+1(int)} + \sum_{t=1}^{T-1} \Delta C_{t,t+1(camb-comb)} \sum_{t=1}^{T-1} R_{t,t+1} \dots (2.19)$$

Donde  $\Delta C_{t,t+1(a)}$ ,  $\Delta C_{t,t+1(e)}$ ,  $\Delta C_{t,t+1(int)}$ , representan la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto a la actividad, estructura e intensidad en energía respectivamente,  $\Delta C_{t,t+1(camb-comb)}$ , representa la variación en emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto a la mezcla de combustible primario y de uso final, y  $R_{t,t+1}$  es un término residual.

Mediante la aplicación de estas metodologías se determinará que factor o factores físicos a lo largo del período considerado en este trabajo (1965-2001) han sido determinantes en la variación tanto del consumo de energía, como de las emisiones de CO<sub>2</sub> para la industria de la celulosa y el papel. Ambas metodologías se aplicarán de manera independiente a los datos correspondientes para la industria y se realizará una comparación de los resultados obtenidos para cada una de ellas.

## CAPITULO III

### TENDENCIAS HISTORICAS DEL CONSUMO APARENTE DE CELULOSA Y PAPEL EN MEXICO

#### 3.1 PRINCIPALES PRODUCTORES DE CELULOSA Y PAPEL NACIONAL

Se puede considerar que la verdadera expansión de la industria papelerera nacional empezó después de la segunda guerra mundial, ya que en años anteriores las fabricas de producción de celulosa y papel eran escasas y pequeñas. A continuación se presenta una pequeña semblanza de la expansión de la industria de la celulosa y papel en México en los últimos años[13].

Entre 1941 y 1947 aparecieron Papelera de Chihuahua, Productora de Papel y Cartonajes estrella, Y fue en la década de las 50's cuando hubo un crecimiento notable, dentro de las empresas que se fundaron en esta década podemos mencionar las siguientes: Sonoco de México (1950), Manufacturas Bidasoa (1952), Fca. de Celulosa el Pilar(1953), Manufacturas Gargo (1953), Empaques de Cartón United (1954), Fca. de Papel San Jose (1954), Fcas. De Papel Tuxtepec (1954), Fca. de Papel la Soledad (1955), Papelera Veracruzana (1955), Cía. Papelera Maldonado (1956), Fca. de Papel México (1956), Fca. de Papel Santa Clara (1957), Smurfit Cartón y Papel (1957). A continuación se listan la empreseas que se fundaron durante las décadas de los 60's, 70's y 80's:

Celulosa de Fibras Mexicana (1961), Madrueño y Compañía(1963), Unipak(1964), Crisoba Industrial(1971), Ind. Papelera Mexicana(1973), Mexicana de papel periódico (1974"), Cartones Ponderosa (1977), Fcas. De Papel Potosí (1978),, Productora Nacional de Papel Destintado (1976), Papelera del Nevado (1978), Empaques Modernos de Guadalajara (1979), Celulosa Papelera (1980), Copal Mexicana (1980), Fcas. De Papel San Francisco (1980), Hovomex (1981), Papeles Higiénicos de México (1988).

En la última década no se ha presentado crecimiento de dicha industria, es como podemos ver hasta la década de los 80's que dejo de crecer.

En la actualidad se cuenta con 67 establecimientos, de los cuales 7 producen celulosa y diferentes tipos de papel, 57 producen diferentes tipos de papel y 3 son productores únicamente de celulosa.

En la figura 3.1 se muestra la distribución de las plantas de celulosa y papel en el país, y posteriormente se presentan una tabla de estas, mostrando los tipos de celulosa y papel que se producen[5].

FIGURA 3.1

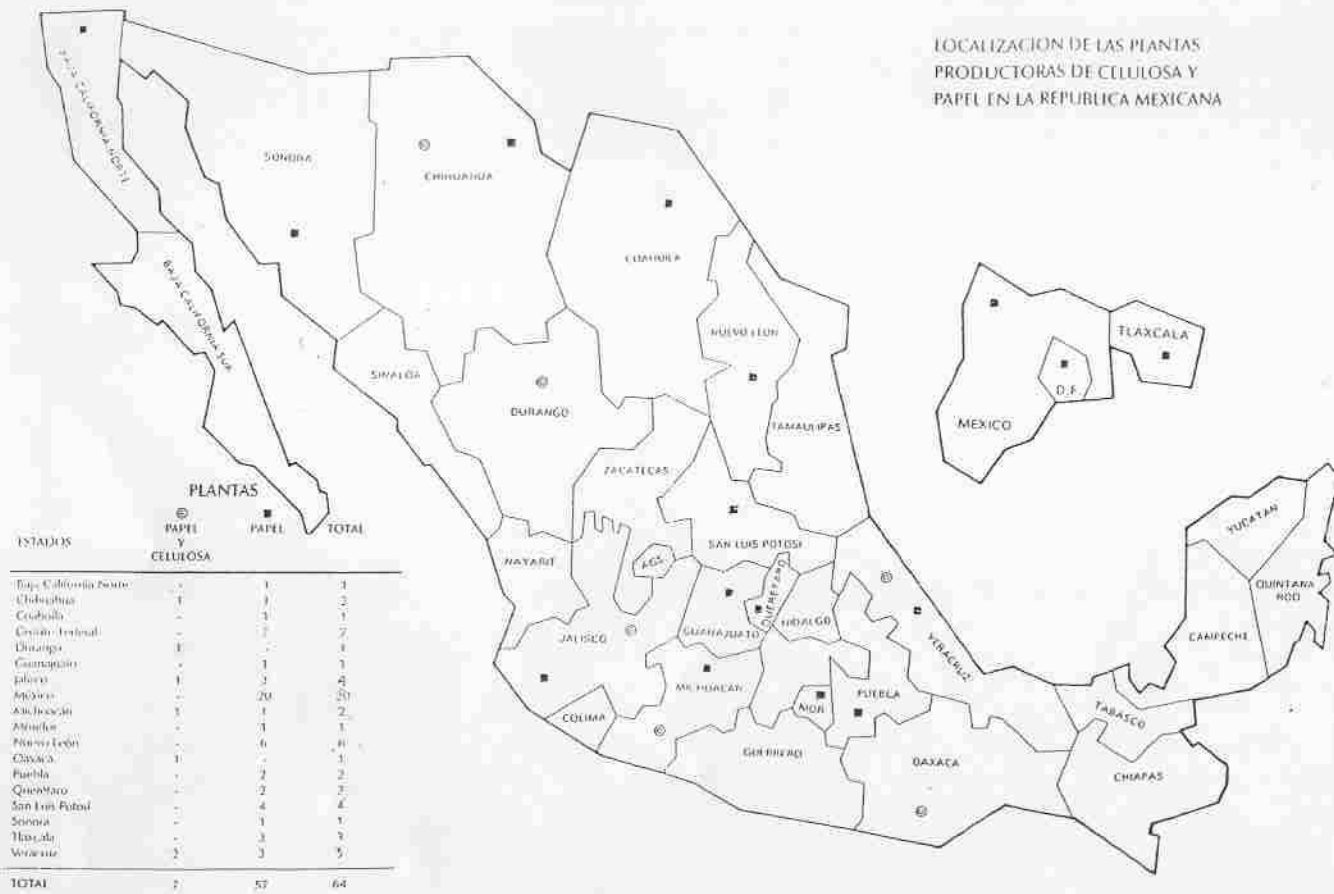


Tabla 3.1 Productores de Papel

EMPRESA	Papeles para:	Características	Fundación
Cartonajes Estrella, S.A. de C. V.	Cajas	LSK	1947
	Cartoncillos	DSR, DR, G	
Cartonajes Ponderosa, S.A. de C.V.	Cartoncillos	DSR, DR	1977
Caetones Superfinos, S.A.	Cajas	LSK	
Celulosa de Fibras Mexicanas, S.A. de C. V.	Bolsas	SK	1961
	Envoltura	BCD	
	Cajas	LSK,CSK	
	Sanitario y facial	TSK	
Celulosa y Corrugados de Sonora, S.A de C.V.	Cajas	LSK, CSK	
Cía. Industrial Papelera Poblana, S.A. de C.V.	Cajas	LSK	
CIA. Papelera el Fénix, S.A. de C.V.	Escritura e Impresión	B, CSR	1935
	Cartoncillo	DSR, DR	
Cía. Papelera Maldonado, S.A. de C.V.	Esdritura e Impresión	B, CSR	1956
	Sacos	K	
	Bolsas	SK	
	Envoltura	BCO	
	Cajas	LSK, CSK, CT	
	Especiales	GL, O, BS	
Empaques de Cartón United, S.A. de C. V.	Cajas	LSK	1954
Empaques Modernos de Guadalajara, S.A. de C.V.	Cajas	LSK	1979
Empaques Modernos San Pablo, S.A. de C.V.	Cajas	LSK, CSK	1959
Fca. de papel la Soledad S.A. de C.V.	Envoltura	SK	1955
Fca. de papel San Francisco S.A de C.V.	Cajas	CSK	1980
	Sanitario y Facial	H, S,	
Fca. de papel San Isidro, S.A.	Cajas	LSK, CSK	
Fca. de Papel San José, S.A. de C.V.	Escritura e impresión	B	1954
	Cartoncillo	G	
Fca. de Papel Santa Clara, S.A. de C. V.	Cajas	LSK, CSK	1957
Fcas. de Papel Potosí, S.A. de C.V.	Sanitario y Facial	H, S	1978
Hovomex, S.A. de C.V.	Especiales	O	1981
Industrial Papelera Mexicana, S.A. de C-.V.	Escritura e Impresión	B	1973
	Sanitario y Facial	H	
Industrial Papelera San Luis, S.A. de C.V.	Envoltura	SK	
	Cajas	LSK, CSK	
Procter & Gamble Manufacturas, S. De R.L. de C.V.	Sanitario y Facial	H, PD,S,TT	1928
Madrueño y Cía. S.A. de C.V.	Escritura e Impresión	A/C, B	1963
	Envoltura	SK	
	Especiales	CH, O	
Manufacturas 8-A, S.A. de C.V.	Especiales	CH	
Manufacturas Gargo, S.A. de C.V.	Cartoncillo	DSR, DR,G	1953
	Cajas	CT	
Manufacturera de Papel Bidasoa, S.A. de C.V.	Cajas	LSK, CSK	1952
Papelera Altamira, S.A. de C.V.	Cajas	CSK	
	Sanitario y Facial	H	

**Tabla 3.1 continuación**

Papelería de Chihuahua, S.A. de C.V.	Escritura e Impresión	B	1941
	Bolsas	K	
	Cajas	CSK	
	Sacos	K	
Papelería del Nevado, S.A. de C.V.	Bolsas	SK	1978
	Envoltura	SK, BCO	
	Cajas	LSK, CSK, CT	
	Especiales	O	
	Sanitario y Facial	TSK	
Papelería del Pacífico, S.A. de C.V.	Bolsas	SK	
	Envolturas	SK	
Papelería Industrial Potosina, S.A. de C.V.	Cajas	LK, LSK	
Papelería Varacruzana, S.A. de C.V.	Sacos	K	1955
	Bolsas	K, SK	
	Cajas	CSK	
Papelería Iruña, S.A. de C.V.	Envoltura	SK, BCO	
	Cajas	LSK, CSK	
	Cartoncillo	G	
	Sanitario y Facial	TSK	
Papeles Higiénicos de México, S.A. de C.V.	Sanitario y Facial	H, S, TT	1988
Papeles Higiénicos del Centro S.A. de C.V.	Sanitario y Facial	H, PD, S, TT	
Papeles Lozar, S.A. de C.V.	Escritura e Impresión	A/C, CSR	
	Bolsa	SK	
	Envoltura	SK	
	Cartoncillo	G	
	Sanitario y Facial	TSK	
	Especiales	CH, O	
Productora de Papel, S.A. de C.V.	Cajas	LSK, CSK	1943
	Cartoncillos	DSR, DR	
Smurfit Cartón y Papel de México, S.A. de C.V.	Cajas	LSK, CSK, CT	1957
	Cartoncillos	DSR, DR, G	
Sonoco de México, S.A. de C.V.	Cajas	CT	1950
Unipak, S.A. de C.V.	Cajas	LSK, CSK	1964
Willamette de México, S.A. de C.V.	Cajas	LSK	

Fuente: Memoria Estadística 2002 de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel.

## Simbología

A/C	Aéreo y copia	G	Gris
B	Bond	CLC	Cartoncillo /líq comestible
R	Recubierto	PÑ	Pañuelos
P	Periódico	S	Servilletas
CC	Cartulina cubierta	TT	Toallas tissue
CSR	Cartulina sin recubrir	TSK	Toallas semikraft
K	kraft	GL	Glassine
SK	Semikraft	H	Higiénico
BCO	Blanco	CH	China
PF	Parafinado	O	Otros especiales
LK	Liner Kraft	BS	Base p/siliconizar
LSK	Liner semikraft	KI	Kraft p/impregner
CSK	Corrugado semiukraft	PC	Papel cigarrillo
CT	Conos y tubos	USV	Una sola vez
DSR	Duplex sin recubrir		
DR	Duplex recubierto		

**Tabla 3.2 Productores de Celulosa y Papel**

EMPRESA	Celulosa de:	Características	Papel para	Características	Fundación
Corporacion Durango, S.A. de C.V..	Madera al Sulfato	S/B	Escritura e Impresión	B,P	
	Bagazo	B	Sacos	K	
	Otros tipos	PTM, PTQM	Bolsa	K	
			Envoltura	K, SK, BCO	
			Cajas	LK, LSK, CSK, CT	
Especiales	GL, O, BS				
Kimberly Clark de México, S.A. de C. V.	Madera al sulfato	B, SFC	Escritura e Impresión	A/C, B, R, CC, CSR	1925
	Bagazo	B	Sanitario y Facial	H, PD, S, TT	
			Especiales	PC	
Pondercel, S.A. de C.V.	Madera al Sulfato	B, SFC	Escritura e Impresión	B	

Fuente :Memoria estadística 2002 de la cámara nacional de la industria de la celulosa y el papel

Simbología :

B	Blanca	PTM	Pasta termomecánica
SB	Semiblanca	PTQM	Pasta químico termomecánica
S/B	Sin blanquear	FR	Fibra regenerada
PM	Pasta mecánica	SFC	Sulfato fibra corta

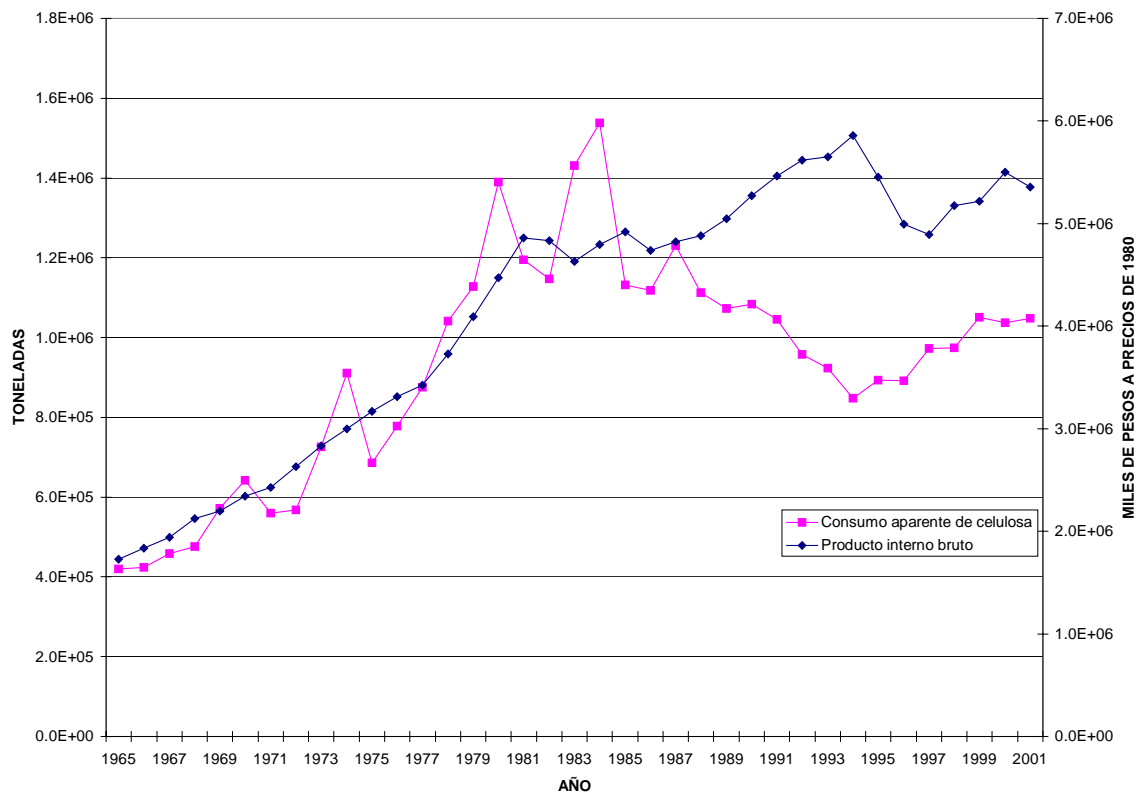
### 3.2 TENDENCIAS HISTÓRICA DEL CONSUMO APARENTE DE CELULOSA

El consumo aparente de la celulosa se obtiene al sumar la producción nacional de los diferentes tipos de celulosas, las importaciones de las mismas, y restando a esta cantidad las exportaciones que en su caso se llegaron a presentar.

De acuerdo con esta definición y los datos correspondientes de consumo aparente, producción, importación y exportación presentados en el apéndice C, se presenta a continuación el análisis de la tendencia histórica del consumo aparente de celulosa para los años comprendidos entre 1965 y el 2001.

Del análisis de esta gráfica se puede observar que el consumo de celulosa ha presentado muchas fluctuaciones durante todo el período analizado (1965-2001), ya que se observan periodos donde se tienen notables incrementos, para posteriormente presentarse una abrupta disminución. Para el análisis del consumo aparente de celulosa, y posteriores análisis se considerarán cuatro períodos distribuidos de la siguiente manera: primer período comprendido entre 1965 y 1975, segundo periodo de 1975 a 1985, tercer periodo de 1985 a 1995 y cuarto periodo de 1995 al 2001.

GRAFICA 3.1 CONSUMO APARENTE DE CELULOSA Y PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB)



Fuente propia con datos de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel y Estadísticas Históricas de México [14].

Como se muestra en la gráfica 3.1 el comportamiento del consumo aparente para el primer período presenta etapas en las que éste se incrementa así como también etapas en las cuales disminuye. Entre 1965 y 1970, la tendencia en el consumo es ascendente, pero entre 1970-1971 se presenta una disminución en dicho consumo del 12.8%. Entre 1971 y 1974, el consumo de celulosa se incrementa notablemente en un 62.82%, para finalmente entre 1974 y 1975 descender en un 24.7 %. El mayor consumo de celulosa registrado en este primer período fue en 1974 con 910,425 ton, mientras el menor consumo se registró en 1965 con 419,342 ton. Uno de los motivos por el cual el consumo aparente de celulosa crece durante este período, es el hecho de que existen las condiciones económicas propicias para este crecimiento, como lo refleja el Producto Interno Bruto (PIB), el cual se maneja en miles de pesos a precios de 1980. Se selecciono como año base para el PIB a 1980, debido a que este año es aproximadamente la mitad del periodo considerado en este trabajo.

En el segundo período (1975 –1985) se observa que durante 1975 y 1980 se registró un crecimiento muy notable en el consumo de celulosa con respecto a 1975, dicho incremento es de 102.7%, en 1980 el consumo alcanzó aproximadamente 1.4 millones de toneladas. Después de este último incremento el consumo vuelve a disminuir en un 17.5% entre 1980 y 1982, y nuevamente aumenta en un 34.14 % entre 1982 y 1984. El consumo de celulosa en ese año es de 1.5 millones de toneladas, siendo esta cifra

el mayor consumo de celulosa registrado en la historia de esta industria, pero para el siguiente año (1984-1985) el consumo cae abruptamente en un 26.42%, siendo el consumo en ese año de 1.1 millones toneladas, es decir 406, 403 toneladas menos que el año anterior. Durante este periodo el crecimiento económico que prevalece en nuestro país continua proporcionando las condiciones necesarias para el crecimiento del consumo (ver gráfica 3.1).

En el tercer período que queda comprendido entre 1985 y 1995, el consumo de celulosa presenta una tendencia decreciente prácticamente todo el período, a excepción de los períodos comprendidos entre 1986 -1987 y 1994 – 1995, en los cuales el consumo aparente se incrementa en un 10 % y 5.4 % respectivamente. La variación porcentual total de este periodo corresponde a un -21%, consumiéndose en 1995 un total de 420,525 toneladas de celulosa. A pesar de que el crecimiento económico continua en ascenso (a excepción del ultimo año de este período debido a la crisis económica presentada en te año), podemos ver que el consumo de celulosas empieza a descender, lo cual se puede explicar debido a que el uso de fibras recicladas empieza a adquirir mayor importancia en la producción de papel[3.4 ].

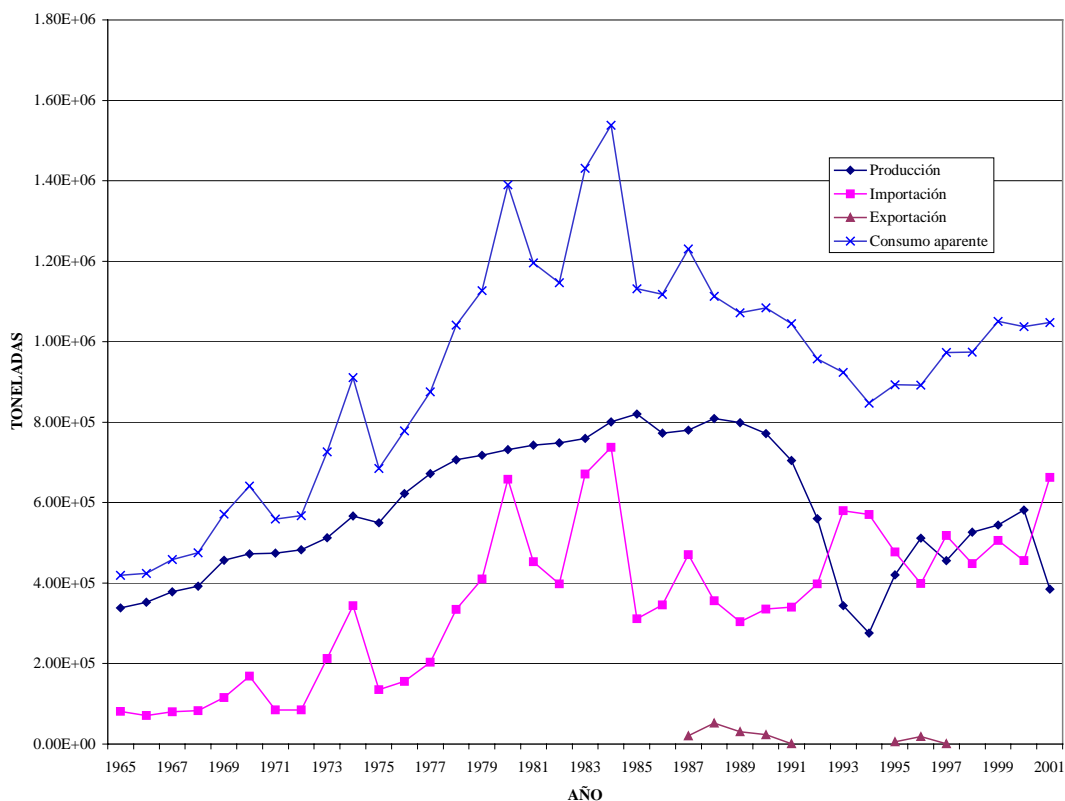
En el último período (1995 y el 2001), como se puede observar en la gráfica 3.1, la tendencia en el consumo es ascendente incrementándose el consumo de 892,660 ton a 1,048,148 ton correspondiendo a estos valores un incremento porcentual de 17.4%.. A pesar de que en los primeros años de este período , las condiciones económicas prevalecientes en el país no son buenas, podemos ver que esto no tubo un impacto importante en el consumo de celulosa, ya que esta se incremento durante todo el periodo.

### **3.3 TENDENCIAS HISTORICAS DE LA PRODUCCION, IMPORTACION Y EXPORTACION DE LA CELULOSA EN MEXICO.**

A continuación se describirá el comportamiento histórico que presentaron la producción, las importaciones y las exportaciones de celulosa entre 1965 y el 2001. Los periodos en los cuales se dividirá este análisis corresponden a los mismos periodos de la sección anterior.



GRAFICA 3.2 CONSUMO APARENTE DE CELULOSA



Fuente propia con datos de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel y Estadísticas Históricas de México [14].

Como se observa en la gráfica 3.2, la producción de celulosa es la que ha tenido mayor importancia dentro del consumo aparente durante la mayor parte de los años comprendidos en este estudio, y es en los últimos años cuando la producción y las importaciones tienen aproximadamente la misma importancia dentro del consumo aparente.

En el primer período (1965 – 1975), la producción de celulosas presenta un comportamiento creciente durante prácticamente toda la década, incrementándose el consumo de 337,926 toneladas en 1965 a 550,222 toneladas en 1975 correspondiendo a este período un incremento porcentual de 62.8%.

En cuanto a las importaciones, podemos observar que su comportamiento sigue el comportamiento del consumo aparente, esto es que al aumentar la demanda de celulosa ésta era cubierta con las exportaciones y al disminuir el consumo de las mismas se dejaba de importar.

Entre 1965 y 1970 las importaciones presentan un comportamiento creciente y posteriormente al igual que el consumo aparente de ésta se decrementa entre 1970 y 1971 para posteriormente incrementarse entre 1971 y 1974 alcanzando en este momento un valor de 292,476 toneladas, que es el valor más alto para este período. Para el siguiente año con la caída del consumo las importaciones caen en un 60.7 %, importándose 135,121 toneladas en 1975.

De acuerdo con el análisis de este período, se observa que a pesar de que la producción nacional no satisface por completo el consumo de celulosa, satisface la mayor parte de este, ya que en 1965 representó el 80.6% del consumo aparente total, en 1974 donde se incrementan el consumo aparente y como consecuencia las importaciones, la producción participó con el 62.3% de l consumo aparente total y en 1975 con el 80.24 %.

En este período no se registran importaciones que solo aparecen en el tercer y cuarto periodo con una mínima participación.

En el segundo periodo (1975–1985) la producción de celulosa muestra un comportamiento creciente correspondiente al 49.1 % durante todo el período, produciéndose en 1975 820,416 toneladas de celulosa, es decir 270,194 toneladas mas que en 1975.

Mientras que la producción mantenía su ritmo de crecimiento, el comportamiento de las exportaciones continúa siendo tan irregular como el del consumo aparente. Como se analizó en la sección 3.1, en estos diez años es cuando se presentaron los mayores incrementos en el consumo de celulosas y ya que las importaciones continuaban respondiendo al comportamiento del consumo, se tiene que en este período se presentan los incrementos más notables en las exportaciones como veremos a continuación.

Entre 1975 y 1980, las importaciones crecieron rápidamente en un 386.8%, posteriormente, entre 1980 y 1982 las importaciones disminuyeron en un 39.5%, para incrementarse rápidamente entre 1982 y 1984 en un 85.1 %, siendo en este último año donde las importaciones alcanzan su máximo valor en los 35 años estudiados con 737,064 toneladas. Finalmente entre 1984 y 1985 las importaciones caen nuevamente en un 57.8%, siendo de 310,887 toneladas las importaciones registradas en este último año.

A pesar de la importancia que adquirieron las importaciones en este período, la participación porcentual de la producción nacional dentro del consumo aparente continúa siendo mayor que las importaciones, ya que en 1980 y 1984 donde las importaciones adquirieron mayor importancia, la participación porcentual de la producción dentro del consumo total fue de 52.7 % y 52% respectivamente y en 1985 fue de 72.5 %.

En el tercer período comprendido entre 1985 y 1995 el comportamiento de la producción cambia notablemente ya que esta empieza a disminuir como puede observarse en la gráfica 3.2, esta caída en la producción esta relacionada con la caída en el consumo que se presento durante estos años, como se mencionó en la sección anterior. Es importante hacer notar que la caída en el consumo no afecta a las importaciones, ya que estas se incrementan e inclusive llegan a adquirir mayor participación dentro del consumo aparente.

Entre 1985 y 1994 la producción de celulosa disminuye notablemente, ya que de 820,416 toneladas que se produjeron en 1985, en 1994 la producción de celulosa sólo

alcanzó las 276,320 toneladas que es el nivel de producción más bajo en los 36 años estudiados (inclusive más bajo que la producción de 1965), registrándose un decremento porcentual del 66.3%. En el último año de este período 1994-1995, se observa un ligero aumento en la producción del 52.2 %, produciéndose en ese último año 420,525 toneladas. La disminución en el consumo de celulosas y la afectación que esta tuvo sobre la producción para en este año está relacionada con la crisis económica que sufrió el país en estos años, efecto que también se ve reflejado en el PIB correspondiente (ver gráfica 3.1)

En cuanto a las importaciones, entre 1985 y 1987 se incrementan en un 51.4 % y a partir de este último año y hasta 1989 las importaciones disminuyen en un 35.3 % , para nuevamente incrementarse entre 1989 y 1994 correspondiendo a estos años un incremento porcentual de 87.6% y finalmente entre 1994 y 1995 nuevamente decrecen en un 16.4% importándose en 1995, 477,363 toneladas de celulosa.

La participación porcentual de la producción de celulosa en este período llega a ser menor que la de las importaciones ya que se registraron en 1993, 1994 y 1995 los siguientes valores de participación porcentual de la producción de celulosa en el consumo aparente total: 37.2 %, 32.6% y 47.1% respectivamente.

Entre 1987 y 1995 se registraron importaciones de celulosa que realmente fueron poco significativas, siendo el mayor volumen registrado en 1988 con 52,456 toneladas.

Por último para el período comprendido entre 1995 y el 2001, la producción presenta una tendencia creciente entre 1995 y el 2000 produciéndose en el año 2000, un total de 582,065 toneladas correspondiendo a un incremento porcentual de 38.4%. Para el último año de este período (2000-2001) la producción disminuye en un 33.9 %, siendo la producción en este último año de 384,946 ton.

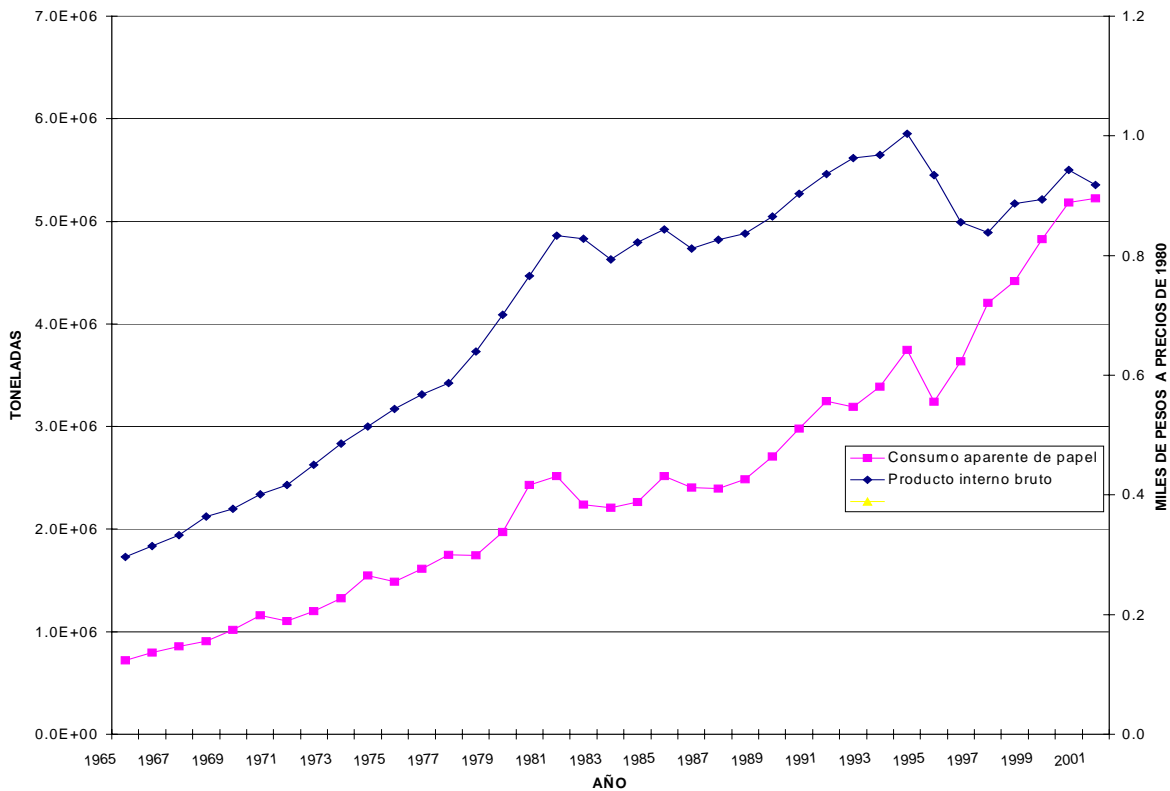
En cuanto a las importaciones, estas crecen y decrecen de un año a otro durante este período como se puede ver en la gráfica 3.2, pero entre el 2000 y el 2001 es cuando se presenta el incremento más notable ya que las importaciones alcanzan un valor de 663,202 toneladas y el incremento porcentual correspondiente a este año es de 45.6%, lo que indica que el incremento en el consumo aparente correspondiente a este año fue satisfecho por las exportaciones , ya que como se mencionó en el párrafo anterior, la producción correspondiente a este año disminuyó.

La participación porcentual de la producción y las importaciones dentro del consumo total durante este último período se mantuvieron aproximadamente equilibradas entre 1995 y el 2000, ya que la participación de la producción se mantuvo ligeramente por arriba del 50% durante estos años, siendo en 1996 cuando se registro la mayor participación porcentual de la producción en este período con el 57%. Pero entre el 2000 y el 2001 la participación porcentual de la producción es la más baja de este periodo ya que llega a ser del 36% del consumo aparente.

### 3.4 TENDENCIAS HISTORICAS DEL CONSUMO APARENTE DE PAPEL

Al igual que el consumo aparente de celulosa, definiremos el consumo aparente de papel como la suma de la producción nacional de los diferentes tipos de papel mas las importaciones de estos y a esta suma se le restan la exportaciones que se llegaron a presentar, de tal manera que con esta definición, se presenta a continuación el análisis del consumo aparente de papel para el período comprendido entre 1965 y el 2001 de acuerdo con los datos presentados en el apéndice C.

GRAFICA 3.3 CONSUMO APARENTE DE PAPEL Y PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB)



Fuente propia con datos de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel y de las Estadísticas Históricas de México.

De la gráfica 3.3 se observa que el consumo aparente de papel presenta un comportamiento ascendente durante los 36 años considerados en este estudio. El análisis del consumo aparente de papel se realizará de acuerdo con los períodos de estudio de la sección anterior.

Entre 1965 y 1975, se presenta un crecimiento moderado del consumo de papel del 106.16%, esto es que de 721,206 ton que se consumieron en 1965, en 1975 se incremento este consumo a 1.5 millones de toneladas. El incremento porcentual

aparenta ser muy grande, aunque el consumo sólo se incrementó en 765,603 toneladas de papel. El comportamiento del consumo de papel al igual que el de las celulosas crece de acuerdo al crecimiento económico que prevalece en dicha época como lo muestra el comportamiento de PIB (ver gráfica 3.3)

En el segundo período (1975-1985), se observa que el consumo aparente presenta una tendencia creciente, a excepción de los años comprendidos entre 1981 y 1983 donde se observa que la producción cae ligeramente para posteriormente continuar incrementándose hasta 1985. El incremento porcentual total en el consumo aparente de papel de este segundo periodo fue de 69.26% . En 1985 el consumo registrado fue de aproximadamente 2.5 millones de ton. Al igual que en el periodo anterior, el país continua propiciando las condiciones necesarias para el crecimiento en el consumo de papel, ya que el PIB es creciente durante todo el período.

El tercer período comprendido entre los años 1985 y 1995, presenta al igual que en los períodos anteriores una tendencia creciente y es solo en último año de este período (1994-1995) cuando se presenta una caída considerable en el consumo aparente de papel. El incremento porcentual total correspondiente a este período es de 29% consumiéndose en 1995 3.24 millones de ton. El comportamiento del PIB durante estos años , es también creciente a excepción del último año (1994-1995), lo que indicaría que la crisis económica prevaleciente en este año si afecto el consumo de papel (ver gráfica 3.3).

En el último período comprendido entre 1995 y el 2001, el comportamiento del consumo es ascendente durante los seis años que este comprende , además de que la rapidez con la que aumenta dicho consumo es notablemente mayor a la de los tres periodos anteriores. El incremento porcentual correspondiente a este período es del 61 % con respecto a 1995, ya que en el 2001 se consumieron 5.23 millones de toneladas. A pesar de que en el primer año de este período el PIB refleja todavía la mala situación económica en que se encuentra el país y de que en los años posteriores crece moderadamente, esto no se ve reflejado en el consumo de papel, ya que este crece rápidamente.

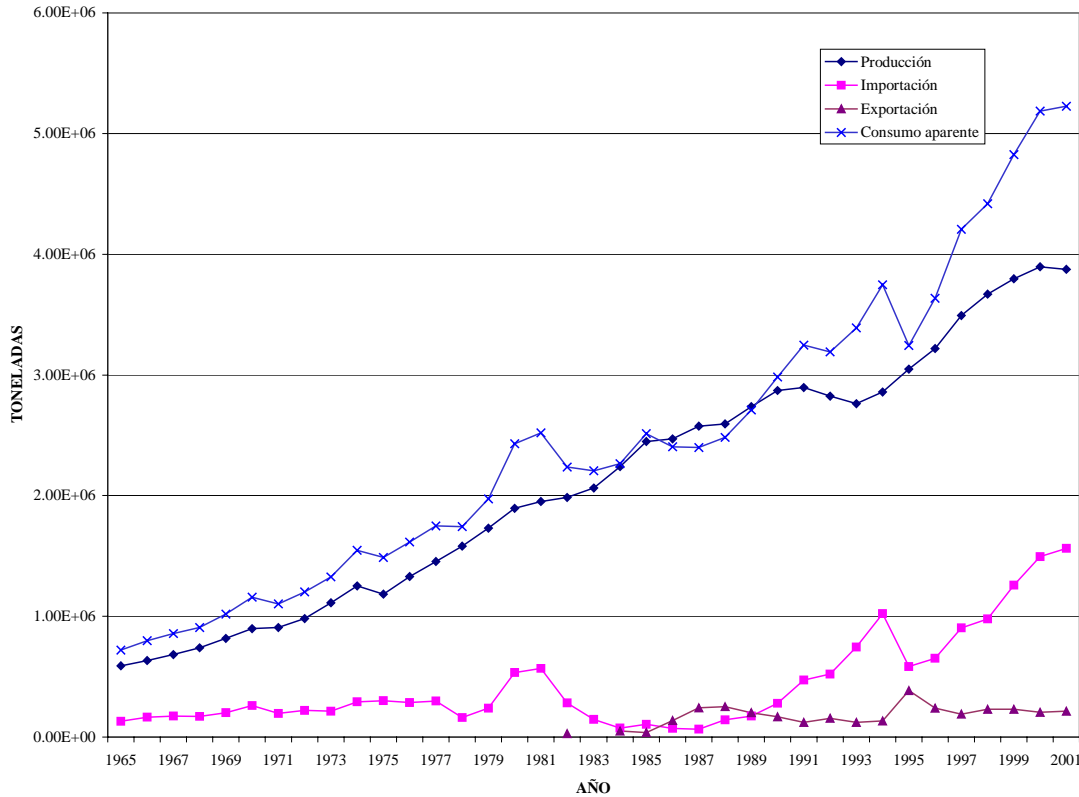
### **3.5 TENDENCIAS HISTORICAS DE LA PRODUCCION, IMPORTACION Y EXPORTACION DE PAPEL EN MEXICO.**

Al igual que el consumo aparente de papel, la producción de papel presenta durante los 36 años analizados un comportamiento bastante regular y creciente con el transcurso del tiempo, y como se observa en la gráfica 3.4 que se muestra a continuación, la producción satisface casi por completo el consumo de papel, motivo por el cual las importaciones no adquieren mucha importancia al transcurrir el tiempo, a excepción de los últimos años como podremos ver en el siguiente análisis.

De la gráfica 3.4 podemos observar que en el primer período (1965-1975) la producción presenta un comportamiento creciente, incrementándose desde 591,036 toneladas producidas en 1965 a, 1.2 millones de toneladas de papel en 1975 correspondiendo a estos valores un incremento porcentual del 100%.

En cuanto a las importaciones estas se incrementan de 130,170 toneladas en 1965 a 302,206 toneladas en 1975 lo que representó un incremento porcentual de 132 %.

GRAFICA 3.4 CONSUMO APAENTE DE PAPEL



Fuente propia con datos de la Memoria Estadística de la Cámara nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel y de las Estadísticas Históricas de México del INEGI.

En la gráfica 3.4 se observa que la participación porcentual de la producción dentro del consumo es más importante que la participación de las importaciones durante todo el período, ya que en 1965 la participación porcentual de la producción fue del 82 %, y del 79.7 % en 1975.

En este período no se registra ningún dato correspondiente a exportaciones.

En el segundo período de este análisis comprendido entre 1975 y 1985 se observa que la producción de papel continua en crecimiento durante toda la década, registrándose un crecimiento porcentual del 106.6 %, llegando a producirse en 1985 2.5 millones de toneladas de papel.

En cuanto a las importaciones entre 1975 y 1978 estas permanecen prácticamente constantes ya que solamente se registro un incremento porcentual del 1.6 %, para el siguiente año las importaciones caen en un 45.8% siendo las importaciones registradas en 1978 de 160,980 toneladas.

Entre 1978 y 1981 se ve reflejado en las importaciones el incremento presentado en el consumo que se mencionó en la sección 3.3 y que se puede observar en la gráfica 3.4 correspondiente. El incremento porcentual de las importaciones para estos años fue de 253.3% importándose en 1981 568,667 toneladas. A partir de 1981 y hasta 1985 las importaciones disminuyeron hasta llegar 105,767 toneladas, lo que corresponde a un decremento porcentual del 81.4%.

En esta década se exporta una mínima cantidad de papel, registrándose los siguientes datos: en 1982 se exportaron 29,254 toneladas y en 1984 y 1985 48,851 y 38,447 toneladas respectivamente.

La participación porcentual de la producción durante este período continua teniendo mayor importancia que las importaciones dentro del consumo aparente y a que a pesar de que en 1981 la participación de las importaciones se incremento solo participaron con el 22.5% del consumo. En 1985 la participación porcentual de la producción correspondió al 97.32%.

Entre 1985 y 1995, años correspondientes al tercer período, el comportamiento de la producción durante los primeros seis años continua siendo creciente viéndose ligeramente disminuida entre 1991 y 1993 para posteriormente continuar con una tendencia creciente hasta 1995. El incremento porcentual total correspondiente a este período es de 24.5%, produciéndose aproximadamente en 1995 tres millones de toneladas.

Durante este periodo (entre 1986 y 1989 ) la producción excede ligeramente el consumo, motivo por el cual las importaciones disminuyen y se observa un ligero aumento en las importaciones.

Después de la caída de las importaciones en la etapa anterior, estas se empiezan a incrementar ligeramente durante los primeros años de este período (debido a la sobre producción ya mencionada) y a partir de 1989 y hasta 1994 el incremento se acelera al igual que el consumo, el incremento porcentual correspondiente a estos años (1985 - 1994) es de 866.8 %, importándose en 1994 1,022,594 toneladas. Entre 1994 y 1995 las importaciones nuevamente disminuyen en un 42.9 %, importándose en este último 584,146 toneladas.

En este período las exportaciones tuvieron una ligera participación en el consumo aparente, incrementándose de 38,447 toneladas en 1985 a 252,556 en 1988 cuando la producción excede al consumo, y disminuyendo a partir de este último año y hasta 1991. En los siguientes años (1991 –1994) las exportaciones se mantuvieron aproximadamente constantes y entre 1994 y 1995 se registra un crecimiento mayor llegándose a exportar en este último año 386,622 toneladas.

La participación porcentual de la producción de papel en el consumo aparente en 1995 corresponde al 94%.

En el último período (1995-2001) la producción continúa con una tendencia creciente llegando a producirse 3.9 millones de toneladas en el 2001, correspondiendo un incremento porcentual de 27.2% para todo el período.

Al igual que la producción las importaciones crecieron durante todo el período, siendo este incremento del 199 %, ya que se importaron 1,563,955 toneladas en el 2001. El incremento tanto de la producción como de las importaciones se justifica por el crecimiento tan acelerado que se dio en el consumo durante este período.

Con respecto a las exportaciones después del incremento registrado entre 1994-1995, vuelven a disminuir el siguiente año, exportándose 238,418 toneladas en 1996, a partir de este año y hasta el 2001, las exportaciones se mantienen aproximadamente constantes.

La participación porcentual que ocupó la producción de papel en el consumo aparente en el 2001 corresponde a un 74.17%

De acuerdo con el análisis presentado entre 1965 y 2001 se tiene que el consumo es prácticamente satisfecho por el papel de producción nacional, y a pesar de que el consumo cayó en algunos años, se pudo apreciar que esto afectaba únicamente a las importaciones ya que estas disminuyen al disminuir el consumo. Con respecto a las exportaciones, estas hicieron prácticamente su aparición cuando se presentó la producción excedente de papel y continuó aproximadamente constante hasta el 2001.

### **3.6 RECICLAJE**

Existen muchas tendencias en el uso del papel reciclado en el mundo. En primer lugar, ha sido notorio que la cantidad de papel a reciclar, se ha estado incrementando año con año, y la tendencia mundial de la última década indica que esto continuará de manera similar. En segundo lugar, la fibra reciclada está siendo utilizada en grandes cantidades y finalmente, se ha estado utilizando como materia prima fibrosa en la fabricación de papeles de mayor calidad, los cuales anteriormente se fabricaban únicamente con fibras vírgenes.

Los motivos por los cuales el uso de papel reciclado ha aumentado en los últimos años, son básicamente razones económicas y ambientales. Uno de los factores que motivaron a intensificar el reciclado fue la crisis que se tiene con los espacios para ubicar tiraderos municipales de residuos, en cuyos componentes el papel se encuentra en grandes cantidades, presentándose además ahora un nuevo factor que ha acelerado que se promueva la política de reciclado del papel, como lo es la promulgación de leyes que particularmente impulsan a todos los sectores de la población que sean conscientes y participativos de la necesidad de utilizar productos en los cuales se incorpore o este presente papel reciclado. Además el uso de fibras secundarias contribuye a disminuir el consumo de energía al disminuir la producción de celulosas.

Sin embargo, la calidad del papel reciclado se deteriora en diferentes grados, debido a la contaminación que éste tiene con otros materiales; lo que se refleja en las



propiedades físico-mecánicas de resistencias y calidad comercial del papel o cartón elaborado. Por otro lado, el uso de esa fibra, crea temores y dudas acerca de la calidad del producto final o del comportamiento de la pulpa reciclada en el proceso.

Debido a la actual situación nacional de recesión económica y el aumento en el precio internacional de celulosa y papel, sin olvidar los aspectos ecológicos en que se encuentra nuestro país, la industria mexicana del ramo ha puesto nuevamente su mirada en la obtención de pulpa celulósica en lugar de importarla. Por otra parte, el suministro nacional de madera para la obtención de pulpa, presenta también una situación crítica debido a su escasa disponibilidad. Para algunos países, una alternativa de suministro de material celulósico para producir papel, es el reciclado del mismo.

Si consideramos, que cuadernos, libros, revistas, diarios, papelería de oficina, fotocopias, sobres, carteles, cajas y empaques pueden convertirse nuevamente en papel, mismo que contiene, aseguran sus productores, un 79 % de reciclado y sólo un 21 % de celulosa, se tiene el dato de que cada año se tiran alrededor de 22 toneladas de papel, y ya que la materia prima básica de este material son los árboles, se sabe que por ejemplo se requieren 3 a 15 árboles o 2,85 kg de madera; 440 mil toneladas de agua potable, y más de siete mil 600 kw de energía para producir una tonelada de papel para empaque[9].

Al producir este tonelaje se generan 42 kg de contaminantes atmosféricos; 18 kg en agua y 88 kg de desechos sólidos. De este modo, si el papel se fabricara con fibra secundaria, disminuiríamos el 60% del agua que se gasta en el proceso y el 20% de la energía que se utiliza en la elaboración de papel con fibra virgen. Además, se evitaría verter en el agua los contaminantes químicos que se utilizan en su elaboración como el cloro [9].

### **3.6.1 NATURALEZA DEL PAPEL RECICLADO**

El reciclado de papel está formado por dos elementos básicos que son: la fibra como componente principal en la fabricación de papel y los contaminantes, que son materiales innecesarios para la fabricación del mismo, por lo cual tienen que separarse y eliminarse de la pulpa. Es importante considerar que las fibras inorgánicas presentes en diferentes tipos de papel puedan ser consideradas como material de uso contaminante; por tanto, si la pulpa reciclada esta destinada a producir papel de alta calidad deben ser considerados como contaminantes, situación que puede ser diferente para otros tipos de papeles en donde la presencia de estos materiales no ocasiona problemas de calidad o fabricación.

Los contaminantes presentes en la pulpa tienen que ser separados de la misma con el objetivo de obtener papel de calidad resultante de la fibra reciclada. Para lograr la separación y eliminación de los contaminantes es necesario basarse en las diferencias físico- químicas manifestadas en las propiedades de la fibra y contaminantes. Por lo general cada clase de contaminante es eliminado por una máquina diseñada para esa función. Las propiedades de los contaminantes que hacen posible su eliminación se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.3 Propiedades de los contaminantes y método de eliminación**

<b>Contaminantes</b>	<b>Características para su eliminación</b>
Piedras, grapas, vidrios	Tamaño o densidad
Plástico	Forma o densidad
Ceras, granos de arena adhesivos	Densidad
Material adhesivo, tintas, cenizas	Propiedades superficiales

Fuente Revista de la Asociación Mexicana de Técnicos de las Industrias de la Celulosa y el Papel vol 36 No.3

El reciclado de papeles y cartones no es una idea nueva en la industria del ramo, se ha venido realizando desde hace décadas, motivado en primera instancia como ya se menciona por razones económicas y en los últimos años por razones ambientales. En este sentido, se han realizado muchos esfuerzos en torno a la reutilización del papel de desperdicio, desarrollando dos grandes líneas de utilización y manejo:

- Reciclado de papel desperdicio de fibras largas y sin blanquear, para obtener papel con características semejantes al papel inicial.
- Utilización del papel desperdicio impreso blanco integrado principalmente de fibra corta, para obtener nuevamente papeles blancos aplicando acciones de destintado.

Los niveles de competencia obligan al mejoramiento de la calidad de los productos destintados y a la adopción de parámetros adicionales que reflejan realmente el grado de limpieza logrado por el proceso de reciclado del papel. Para lograr lo primero, el productor de papel se enfrenta a dos disyuntivas: 1) inversión del capital; 2) optimización de equipo existente y de los reactivos químicos utilizados.

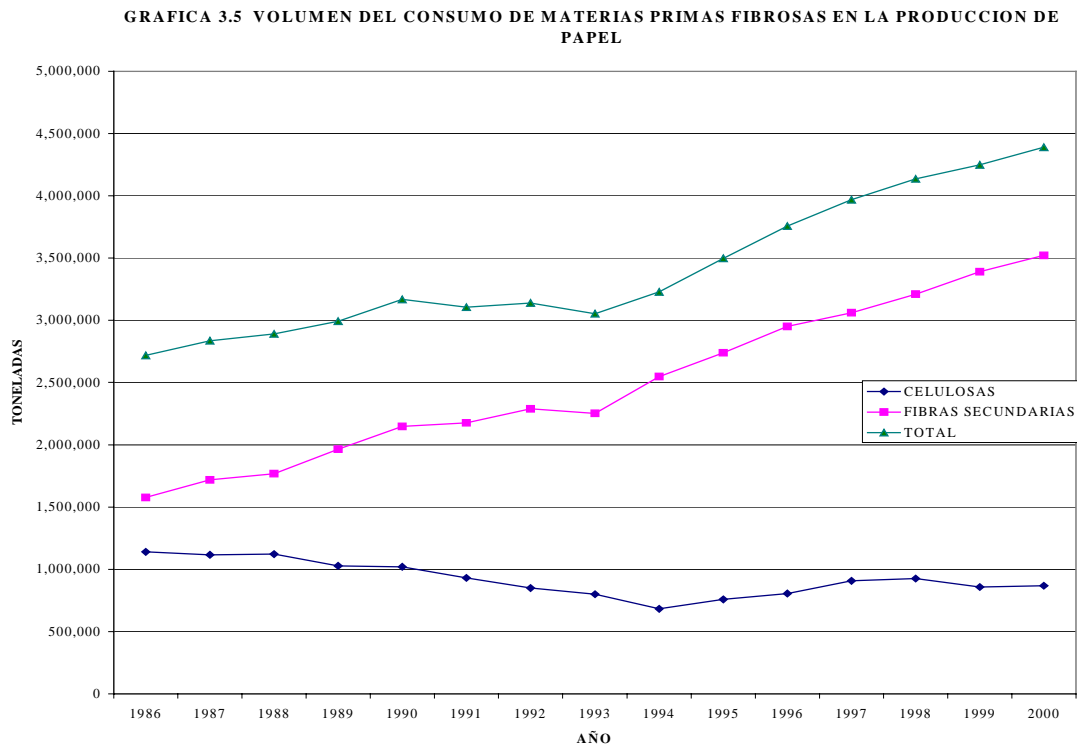
Dentro de los parámetros de respuesta utilizados comúnmente se encuentra la blancura y cada vez con mayor frecuencia el área sucia residual. La blancura es una medida relativa de la luz reflejada por la muestra del papel en el campo de medición, es decir, es un parámetro macroscópico. Este es, además, un término ambiguo, por lo que cuando se hace referencia a ella se especifica el equipo utilizado. La presencia de partículas de tinta de diverso tamaño alteran la blancura en función del área que ocupan. Las partículas menores a 50  $\mu\text{m}$  son imperceptibles al ojo humano, pero se encuentran mejor dispersas que las partículas grandes y al no reflejar la luz, disminuyen la blancura. Las partículas mayores a 50  $\mu\text{m}$  se observan a simple vista y disminuyen la calidad óptica, es decir la apariencia. El destintado persigue la máxima eliminación de partículas en función del producto final[25].

### 3.6.2 CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS PARA LA FABRICACIÓN DE PAPEL

Ante el panorama económico y ambiental actual, los productores de papel han buscado fuentes de fibra que satisfagan los requerimientos de costo y calidad exigidos por el mercado nacional en primera instancia y por el internacional (por medio del TLC) en segunda.

El papel de desperdicio o fibra secundaria se ha constituido como una materia prima de vital importancia a nivel nacional, ya que por ejemplo en México el 90% de la materia prima utilizada para la fabricación de papel es fibra secundaria, o sea que proviene de cajas y papeles usados [25]. Si la situación actual se mantiene, es lógico pensar en un posible incremento en la utilización de fibra secundaria en papeles de mayor valor agregado (escritura e impresión) o el aumento de los volúmenes actuales de producción de papeles con altos contenidos de fibra secundaria, para lograr esto el único camino viable es el destintado. La instalación o reconstrucción en México de 4 plantas de destintado por flotación o combinadas, en los últimos años confirma esta tendencia[31].

La gráfica siguiente muestra la participación de fibras secundarias y celulosas para la producción de papel en México para los años comprendidos entre 1986 y 1995 (ver apéndice D)



Fuente: Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel

Como se puede observar en esta gráfica, el uso de fibras secundarias para la producción de papel ha ido en aumento durante todo el periodo presentando.

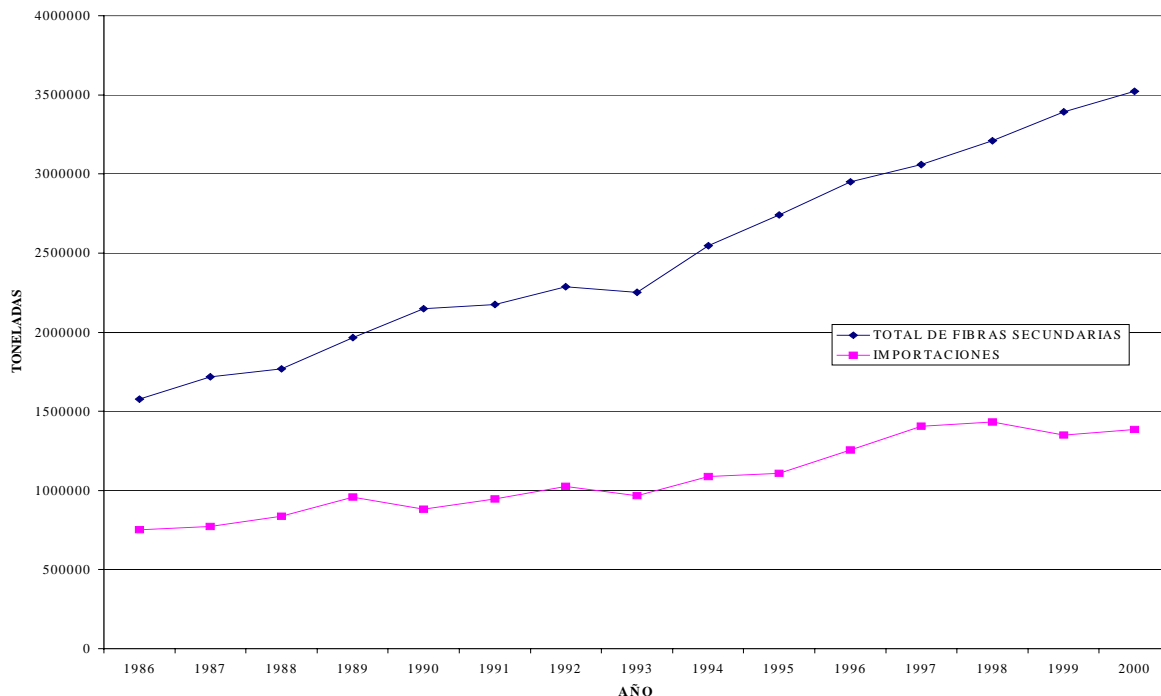
### 3.6.3 IMPORTACIONES DE FIBRAS SECUNDARIAS Y RECOLECCIÓN NACIONAL

A pesar de la moda ecológica actual, reciclar papel no es una actividad nueva en México, a falta de una producción suficiente de celulosa que abastezca al cien por ciento al mercado nacional, la industria papelera ha tenido que someterse, cuando menos, a dos situaciones que la han acompañado en su propio desarrollo: importar y reciclar.

Si bien en este último rubro la conciencia por la conservación de los recursos forestales ha influido en las nuevas generaciones, la principal razón por la que se recicla papel en México es como ya se mencionó anteriormente “por una necesidad propia de las empresas al no contar con fabricas de celulosa y ser, por ende, una industria deficitaria”. Por tal motivo entre más podamos reciclar el papel nacional será mejor es un hecho que, al menos en México, las necesidades de papel son cada vez mayores.

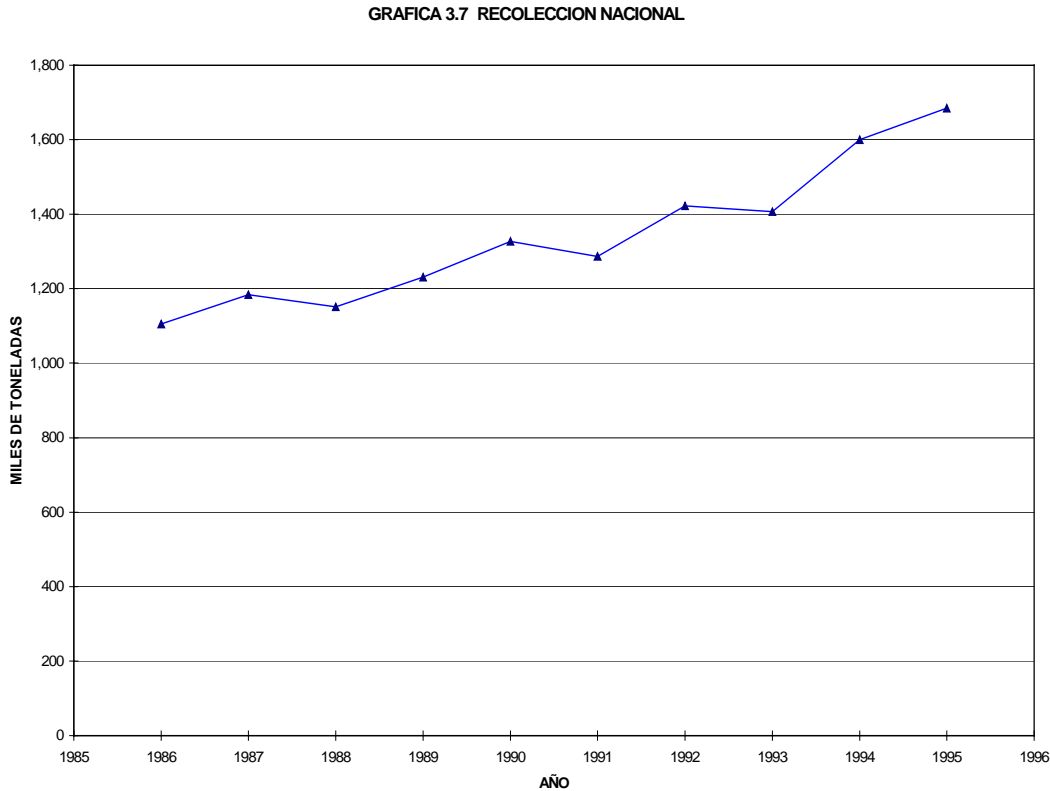
No obstante la participación de fibra secundaria importada aún juega un papel importante, aunque cada vez menor como se puede apreciar en la gráfica 3.6, donde se presenta el comportamiento que ha tenido el consumo de fibra secundaria para la elaboración de papel en la industria papelera mexicana, y la participación de la fibra secundaria importada para el período comprendido entre los años 1986-2000 (ver apéndice D).

GRAFICA 3.6 IMPORTACIONES DE FIBRA SECUNDARIA



Fuente propia con datos de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y Papel

A pesar de que la importación de fibras secundarias tiene cierta relevancia en la industria papelera, su participación porcentual en el total de fibras secundarias utilizadas ha disminuido con el transcurso del tiempo, (en el 2000 las fibras secundarias importadas ocuparon el 39% del total) lo que indica que el uso de fibra secundaria de origen nacional ha ido en aumento, lo que se puede corroborar con la gráfica 3.7, donde se muestra el comportamiento que ha tenido la recolección de papel a nivel nacional [28].



Fuente Revista de la Asociación de Técnicos de las Industrias de la Celulosa y el Papel a.c. Vol.37 No1

El papel que se recicla en países como Japón y Europa continental oscila entre 45 a 50 %, debido a que en estos países se tienen grandes limitaciones en lo referente a recursos forestales. En Canadá y países miembros de la península escandinava, países que cuentan con una gran cantidad de bosques se recicla únicamente el 10% del papel que se consume. En E.U.A. porcentaje de papel reciclado es de alrededor de un 26%, porcentaje que tiende a incrementarse, estimándose que en un futuro logrará reciclar cerca de un 40 % o más al final de la presente década[27].

## CAPITULO IV

### TENDENCIAS HISTORICAS DEL CONSUMO DE ENERGIA PARA LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL EN MEXICO

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO DE CONSUMO DE ENERGÍA GLOBAL

A continuación se presentará el análisis de consumo de energía global de la industria de la celulosa y el papel, que incluye todos los combustibles fósiles utilizados por la industria en cuestión más el consumo de energía eléctrica.

El análisis de consumo de energía se realiza para los años comprendidos entre 1965 y 2001 seleccionados como el período de estudio de este trabajo. Los datos utilizados en este análisis se muestran en el apéndice B.

La gráfica 4.1 muestra el consumo energético total de la industria de la celulosa y el papel para los años en estudio, de acuerdo con el capítulo anterior dividiremos este análisis en los cuatro períodos establecidos, los cuales serán de diez años los tres primeros y de seis años el cuarto.

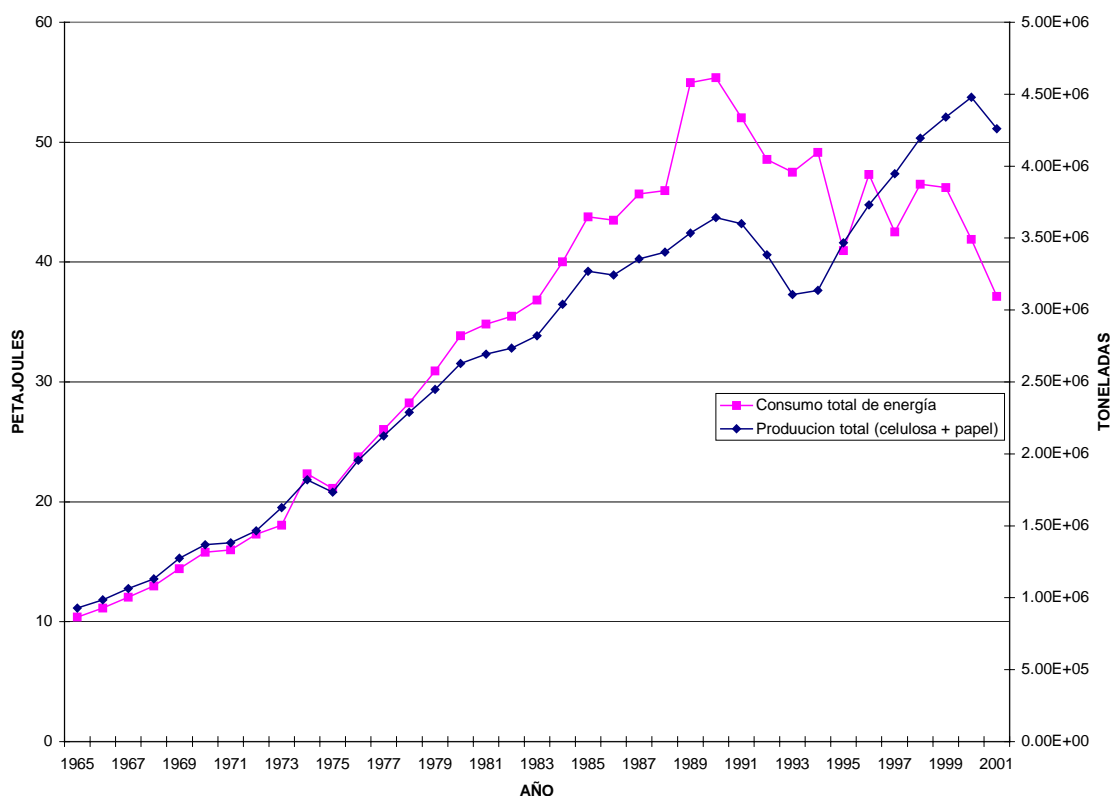
GRAFICA 4.1 CONSUMO DE ENERGIA Y PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB)



Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía y de la pagina web del INEGI

En el primer período comprendido entre 1965 y 1975 el consumo energético para esta industria presenta un incremento constante durante prácticamente todo el período notándose un ligero pico en este consumo en el año de 1974, que corresponde a un aumento presentado tanto en la producción de papel y celulosa en el mismo año, como se observa en las gráficas 3.1 y 3.2 respectivamente. El aumento porcentual correspondiente a estos 10 años es del 103.2 %, esto es de 10.39 PJ que se consumieron en 1965, en 1975 se llegaron a consumir 21.1 PJ.

GRAFICA 4.2 CONSUMO DE ENERGÍA Y PRODUCCIÓN TOTAL



Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 1996,2001 y de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel

El aumento en el consumo energético de este período, es congruente con el aumento en la producción tanto de papel como de celulosa para los mismos años, lo cual se puede apreciar en la gráfica 4.2 donde se presenta el consumo total de energía y la producción total (celulosa mas papel). Este crecimiento en el consumo de energía como consecuencia del crecimiento de la producción es un reflejo de la situación de crecimiento económico en la que se encuentra México en estos años, como se observa el comportamiento del PIB en la gráfica 4.1.

El segundo período corresponde a los años comprendidos entre 1975 y 1985, al igual que en el período anterior, el consumo es creciente durante estos años, el incremento porcentual total correspondiente fue de 107.2 % lo que implica que en 1985 se consumieron 22.7 PJ más que en 1975.

El crecimiento en el consumo energético de este segundo período se ve justificado al igual que en el período anterior por el correspondiente crecimiento en la producción de celulosa y papel, aunque es necesario hacer notar que el crecimiento en el consumo de energía se da con mayor rapidez que el crecimiento en la producción total (ver gráfica 4.2), lo que sugiere que los procesos de producción empiezan a presentar una situación de ineficiencia energética.

Al igual que en el período anterior el crecimiento económico que se dio en el país reflejado en el PIB (ver gráfica 4.1) establece las condiciones necesarias para el crecimiento de la industria de la celulosa y el papel en esta época.

Para el tercer período ubicado entre 1985 y 1995 se observa en la gráfica 4.1 que el consumo energético presenta un comportamiento irregular, ya que presenta etapas de rápido crecimiento, así como también etapas en las que el crecimiento es muy poco y etapas en las que el consumo es decreciente. En la tabla 4.1 podemos ver como varió el consumo energético total para este período.

**Tabla 4.1 Consumo total de energía para el tercer período**

<b>Año</b>	<b>Consumo (PJ)</b>
1985	43.76
1986	43.48
1987	45.67
1988	45.97
1989	54.97
1990	<b>55.38</b>
1991	52.01
1992	48.56
1993	47.50
1994	49.16
1995	40.96

Fuente: Balance Nacional de Energía 2001

Este comportamiento irregular presentado en el consumo de energía es consecuencia de diferentes factores que intervinieron en estos años, en primer lugar podemos mencionar que en los años iniciales (1985-1990) el crecimiento en el consumo energético crece de manera mucho más rápida que la producción (ver gráfica 4.2), lo que implica que el proceso de producción de celulosa y papel se vuelve más ineficiente, posteriormente (a partir de 1990 y hasta 1993) el consumo empieza a disminuir como consecuencia de una disminución en la producción total, esto a pesar de que el PIB se incrementa.

Recordando la sección 3.3 y 3.4 de este trabajo, se tiene que en esta etapa el consumo de celulosas disminuye con una consecuente y notable disminución en la producción de estas, mientras que la producción de papel presenta una ligera disminución en su producción por lo que se asume que el consumo energético disminuye al disminuir la producción de celulosas y ser estas sustituidas por fibras secundarias. Entre 1993 y 1994 el consumo energético se incrementa ligeramente al presentarse un incremento igualmente ligero en la producción total debido a que la



producción de papel continua creciendo, no así la producción de celulosa que continua disminuyendo aunque ya no con la misma rapidez que en los años anteriores (ver graficas 3.2 y 3.4). La proporción entre la variación en el consumo de energía y la producción total implica que continúa existiendo ineficiencia en los procesos de producción de celulosa y papel.

Entre 1994 y 1995 que corresponde al último año de este tercer período se observa en la gráfica 4.1 que el consumo energético cae notablemente en un 16.7% (se dejan de consumir en el lapso de este año 8.2 PJ) . A pesar de que el PIB cae también en este año debido a la crisis económica sufrida en nuestro país, este efecto no se ve reflejado en la producción total como se observa en la gráfica 4.2, esto se debe a que para las celulosas al presentarse un incremento en el consumo se incrementa la producción de esta, y para el papel a pesar de que el consumo de este cae en este año, la producción nacional no se ve afectada, ya que esta tiende a incrementarse ( ver graficas 3.2 y 3.4). De acuerdo con esto podemos decir que si la producción total tiende a incrementarse y el consumo energético disminuye entonces tenemos que los procesos de producción de celulosa y papel empiezan a mejorar su eficiencia como consecuencia de la implementación de medidas de ahorro de energía.

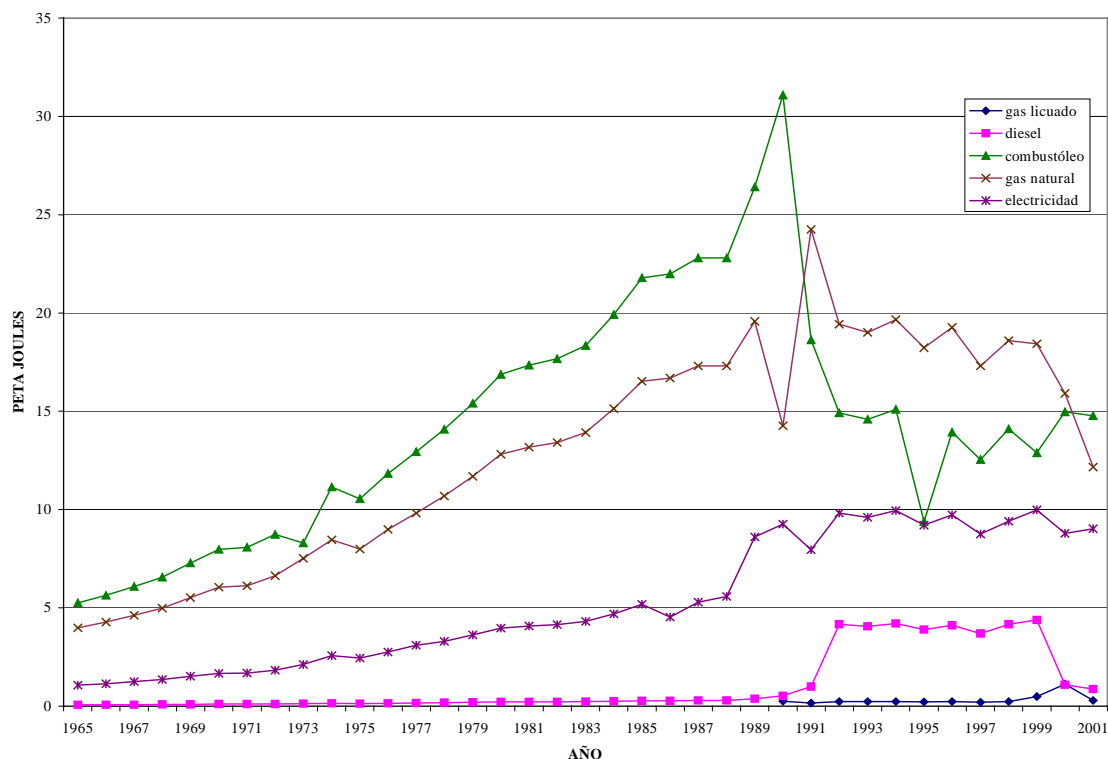
El último período de estudio queda comprendido entre 1995 y el 2001, período en el cual, se presenta un comportamiento irregular en el consumo energético de la industria, ya que entre 1995 y 1998 se incrementa y decreta de un año a otro y de 1998 al 2001 la tendencia en el consumo energético es a disminuir (en estos años el consumo disminuye en un 20% ). El comportamiento del consumo de energía durante este periodo no presenta una relación con el comportamiento del PIB, ya que este disminuye solo al inicio de este período y posteriormente su tendencia es a incrementarse.

Refiriéndonos nuevamente a las gráficas 3.2 y 3.4 del capítulo anterior se puede decir que mientras la producción de papel continua creciendo entre 1995 y el 2000, la producción de celulosa crece y decrece de un año a otro entre 1995 y 1998 por lo que se infiere que estas variaciones las que provocan inestabilidad en el consumo de energía para estos años, entre 1998 y el 2000 la producción de celulosa se incrementa ligeramente (al igual que la producción de papel ), pero el consumo de energía tiende a disminuir, en el último año la producción tanto de celulosa como de papel decrecen por lo que el consumo de energía también disminuye, este comportamiento indica que los procesos de producción durante este período son más eficientes que en los periodos anteriores, lo que también se observa en la gráfica 4.2 donde vemos que la producción total continua en crecimiento a lo largo de prácticamente todo el período (a excepción del último año 2000-2001 donde se presenta una ligera caída en la producción ), siendo este crecimiento más rápido que el crecimiento en el consumo energético. También es importante hacer notar que el incremento del uso de fibra secundaria en los dos últimos períodos para la fabricación de distintos tipos de papel (ver gráfica 3.5), ha contribuido a la disminución del consumo energético, ya que se ahorra energía al producir una cantidad menor de celulosas.

## **4.2 DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO DEL CONSUMO ENERGÉTICO POR COMBUSTIBLE**

En esta sección se analiza el comportamiento del consumo energético para cada uno de los combustibles fósiles y la electricidad utilizada por la industria de la celulosa y el papel. La gráfica 4.3 muestra el comportamiento del consumo de cada una de estas fuentes de energía, (gas licuado, diesel combustóleo, gas natural y electricidad) los datos utilizados para este análisis se encuentran en el apéndice B.

GRAFICA 4.3 CONSUMO DE ENERGIA POR COMBUSTIBLE PARA LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL



Fuente propia con datos de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel

Para realizar este análisis se consideran los mismos cuatro períodos utilizados en la sección anterior de acuerdo con esto se tiene el siguiente análisis:

Para el primer período (1965-1975), se observa en la gráfica 4.3 que el combustóleo es el energético de mayor importancia en la industria de la celulosa y el papel, ya que representa aproximadamente el 50% del total del consumo durante todo el período (ver tabla 4.2). Durante estos años, el consumo de combustóleo presenta una tendencia creciente que va de 5.64 PJ que se consumieron en 1965 a 10.54 PJ en 1975, correspondiendo un incremento porcentual del 5%. Comparando las gráficas 4.1 y 4.3 se observa que el comportamiento del consumo de combustóleo caracteriza el consumo total combustibles de esta industria durante este período y hasta 1990.

Continuando con este período, el combustible que sigue en importancia es el Gas Natural, que representó el 38.42% del consumo total en 1965 con 4 PJ, y su participación porcentual se mantuvo prácticamente constante durante esta etapa, representando en 1975 el 37.9 % del consumo total con 2.4 PJ. El consumo de gas natural es creciente durante todo el período incrementándose un 100.4%. y su comportamiento es muy similar al comportamiento del consumo del combustóleo.

La electricidad es el energético que ocupó el tercer lugar en importancia en consumo total de esta etapa, y a pesar de que el aumento en el consumo eléctrico presentado durante todo el período fue de 140%, la participación porcentual de este energético va de 10.3 % en 1965 a 11.6% en 1975.

EL Diesel ocupa el cuarto lugar en importancia durante estos años, su participación porcentual es mínima, ya que en 1965 representó el 0.64% del consumo total con 0.066 PJ y el 0.63% en 1975 con 0.13 PJ, lo que implica que su consumo fue constante durante estos diez años.

Nota: El Gas Licuado inicia su participación dentro del consumo energética a partir de 1990.

**Tabla 4.2 Participación porcentual en el consumo de energía de las diferentes fuentes energéticas para el primer periodo**

AÑO	COMBUSTOLEO	GAS NATURAL	ELECTRICIDAD	DIESEL
1965	50.28	38.16	10.26	0.64
1966	50.60	38.41	10.32	0.63
1967	50.91	38.65	10.45	0.63
1968	50.57	38.39	10.41	0.63
1969	50.51	38.34	10.51	0.63
1970	50.47	38.32	10.57	0.63
1971	50.48	38.32	10.56	0.63
1972	50.48	38.32	10.56	0.63
1973	46.01	41.61	11.69	0.69
1974	49.94	37.91	11.53	0.62
1975	49.91	37.89	11.57	0.63

Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía.

En el segundo período comprendido entre 1975 y 1985, el comportamiento del consumo energético por combustibles es similar al de la etapa anterior como se observa en la gráfica 4.3, ya que el combustible que ocupa el primer lugar en importancia continua siendo el combustóleo, participando con el casi 50% del consumo total durante estos años como se muestra en la tabla 4.3, y presentando durante todo el período un comportamiento creciente, al que le corresponde un incremento porcentual del 106.6 %.

En segundo lugar en importancia se encuentra el Gas Natural cuya participación porcentual en el consumo total durante todo el período fue prácticamente constante correspondiente a un 37.8 % como se muestra en la tabla 4.3, y con un incremento porcentual de 106.6% durante todo el período (lo que corresponde a un incremento de 8.5 PJ).

Como se observa en la gráfica 4.3, durante el primero y segundo período el comportamiento en el consumo tanto del combustóleo como del gas natural fueron los de mayor importancia en el consumo global del combustible, y ambos consumos se incrementa conforme se incrementa la producción tanto de celulosa como de papel.

La electricidad continua siendo el energético con tercer lugar en importancia, manteniendo prácticamente constante su participación porcentual del consumo total durante el periodo con un valor promedio de 11.7% (ver tabla 4.3), y presentando un incremento de 2.73 PJ correspondiente a un incremento porcentual del 111.8%. La participación del diesel en esta etapa continua siendo mínima ya que solo alcanza el 0.62 % de la participación del consumo total en 1985.

**Tabla 4.3 Participación porcentual en el consumo de energía de las diferentes fuentes energéticas para el segundo periodo**

AÑO	COMBUSTOLEO	GAS NATURAL	ELECTRICIDAD	DIESEL
1975	49.91	37.89	11.57	0.63
1976	49.89	37.87	11.62	0.62
1977	49.70	37.73	11.94	0.62
1978	49.84	37.84	11.70	0.62
1979	49.83	37.83	11.72	0.62
1980	49.84	37.83	11.71	0.62
1981	49.83	37.83	11.72	0.62
1982	49.83	37.83	11.72	0.62
1983	49.83	37.82	11.73	0.62
1984	49.82	37.82	11.74	0.62
1985	49.77	37.78	11.83	0.62

Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía

Para el tercer período (1985-1995) el consumo energético ya no presenta un comportamiento tan estable como el de las etapas anteriores, ya que se registraron variaciones notables en el consumo de algunos energéticos.

El combustóleo presentó un comportamiento creciente entre 1985 y 1990 correspondiente al 42.7%, pero como se puede observar en la gráfica 4.2, este crecimiento se presentó con mayor rapidez entre 1988 y 1990, siendo en 1990 la participación porcentual del consumo total de 56.37 %, que corresponde al mayor consumo de combustóleo registrado en los 36 años analizados (31.08 PJ), y es en este año donde también el consumo de energía total alcanza su valor máximo registrado. A partir de este último año, el consumo de combustóleo cambia notablemente, ya que este empieza a tener un comportamiento descendente hasta 1995, cayendo su participación porcentual dentro del consumo total a tan solo el 23.06 % registrándose un consumo de 9.4 PJ.

Esta caída en el consumo de combustóleo esta relacionada con la caída en el consumo total de energía que tuvo lugar en estos años (ver sección 4.1), pero también el consumo de este energético disminuye porque empieza a ser sustituido por el gas natural como veremos a continuación.

Al inicio de el tercer periodo (1985-1989) el consumo de gas natural continua con el ritmo de crecimiento de los periodos anteriores participando en este último año con el 35.63 % del consumo total, Entre 1989 y 1990 se observa una disminución en el consumo de este combustible del 27.18 %(ver gráfica 4.3), llegando a participar en el consumo total con un 25.88%, que corresponde al porcentaje mas bajo de participación

en el consumo total del gas natural en los 36 años analizados, esto último implica que entre 1988 y 1990 disminuye el consumo de gas natural y esto es compensado con un incremento en el consumo de combustóleo (14.3 PJ).

Pero en los siguientes años, mientras el consumo de combustóleo empieza a disminuir, el gas natural se convierte en el energético con mayor importancia para la industria de la celulosa y el papel, ya que entre 1990 y 1991 registró un importante incremento del 63.5 % en su consumo, representando en 1991 el 46.78 % del consumo total. Entre 1991-1992 el consumo de Gas Natural disminuye en un 19.9% como consecuencia de la disminución en el consumo energético total que se da durante este período (ver sección 4.1), y a partir de este año y hasta 1995 varía ligeramente su consumo (entre 19.4 y 18.3 PJ).

Este cambio en uso de combustible surge como una medida ambiental con la finalidad de reducir emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera, ya que el combustóleo había sido el energético de mayor uso en la industria por razones económicas al ser un combustible con un menor costo que el gas natural, sin tomar en cuenta la cantidad de gases contaminantes emitidos hacia la atmósfera (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, etc, ) y los perjuicios ambientales que esto trajo consigo. De manera que al tener el gas natural índices de emisiones de gases contaminantes menores que el combustóleo resulta ser una mejor opción desde el punto de vista ambiental.

El consumo eléctrico continúa en aumento durante estos años, y como se observa en la gráfica 4.3, el incremento es mayor al de las etapas anteriores, lo que indica que la importancia de la electricidad como fuente de energía. El aumento de consumo eléctrico durante esta etapa fue de 78 % (4.04 PJ), ocupando en 1995 el 22.6 % del consumo total.

El consumo de Diesel se mantuvo prácticamente constante entre 1985 y 1991 incrementando su consumo en 0.72 PJ y alcanzando en 1991 una participación porcentual dentro del consumo total del 1.9 %. Entre 1991 y 1992 este combustible presentó un incremento notable de 318.5%, representando en 1992 el 8.61 % del consumo total de energía, y a partir de este último año y hasta 1995 su consumo permanece aproximadamente constante a niveles de 1992, participando en 1995 con el 9.57 % del consumo total con 9.30 PJ.

Finalmente el gas Licuado empieza a ser utilizado por la industria de la celulosa y el papel, iniciando con un consumo de 0.247 PJ en 1990, participando con el 0.45% del consumo total, y permaneció prácticamente constante durante este período, en 1995 ocupó el 0.53% del consumo total.

**Tabla 4.4 Participación porcentual en el consumo de energía de las diferentes fuentes energéticas para el tercer periodo**

AÑO	COMBUSTOLEO	GAS NATURAL	ELECTRICIDAD	DIESEL
1985	49.77	37.78	11.83	0.62
1986	50.56	38.38	10.44	0.63
1987	49.92	37.89	11.58	0.62
1988	49.59	37.64	12.16	0.61

1989	48.03	35.63	15.66	0.68
1990	56.12	25.76	16.74	0.93
1991	35.82	46.62	15.32	1.91
1992	30.72	40.02	20.22	8.57
1993	30.71	40.01	20.23	8.57
1994	30.71	40.02	20.22	8.57
1995	22.94	44.51	22.50	9.52

Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía.

En el último período (1995-2001), el Gas Natural ocupó el primer lugar en importancia en el consumo energético de la industria de la celulosa y el papel. Durante los primeros cuatro años (1995-1999) de este período se presentan incrementos y decremento pequeños que van de un año a otro, la variación total de estos años fue de 11.1 %, ocupando en 1999 el 40.34% del consumo de energía total. Entre 1999 y el 2001, el consumo de gas natural cae en 34.1% (se dejaron de consumir 6.28 PJ de este combustible) como consecuencia de la disminución del consumo total que se presenta en estos años, siendo su participación en el consumo total para el 2001 del 32.7% que es ligeramente menor que el del combustóleo.

El consumo de combustóleo permanece en segundo lugar en importancia, y al igual que el consumo de gas natural presenta un comportamiento irregular, ya que su consumo se incrementa y decreta de un año a otro manteniéndose en segundo lugar en importancia dentro del consumo total a excepción del último año donde excede ligeramente al consumo de gas natural, y variando su participación porcentual entre un 23% y 40 % durante este período.

La electricidad se mantiene en tercer lugar de importancia dentro del consumo de energía total durante este período, presentando ligeros incrementos y decremento durante el mismo. La participación porcentual alcanzada para el 2001 dentro del consumo total de energía fue del 24.3%.

De la gráfica correspondiente se observa que el consumo de diesel durante los primeros cuatro años permanece prácticamente constante, y entre 1999 y el 2001 se presenta una disminución en su consumo del 80%, ocupando el 2.4% del consumo total para el 2001. Finalmente el consumo del Gas Licuado continúa teniendo una mínima participación dentro del consumo energético de esta industria (ver tabla 4.5).

**Tabla 4.5 Participación porcentual en el consumo de energía de las diferentes fuentes energéticas para el cuarto periodo**

AÑO	GAS NATURAL	COMBUSTOLEO	ELECTRICIDAD	DIESEL	GAS L.P.
1995	44.51	22.94	22.50	9.52	0.53
1996	40.73	29.49	20.59	8.72	0.48
1997	40.73	29.49	20.59	8.71	0.48
1998	40.00	30.33	20.22	8.96	0.49
1999	39.91	27.91	21.61	9.49	1.08
2000	37.99	35.73	21.00	2.59	2.70
2001	32.74	39.79	24.31	2.37	0.79

Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 2001.

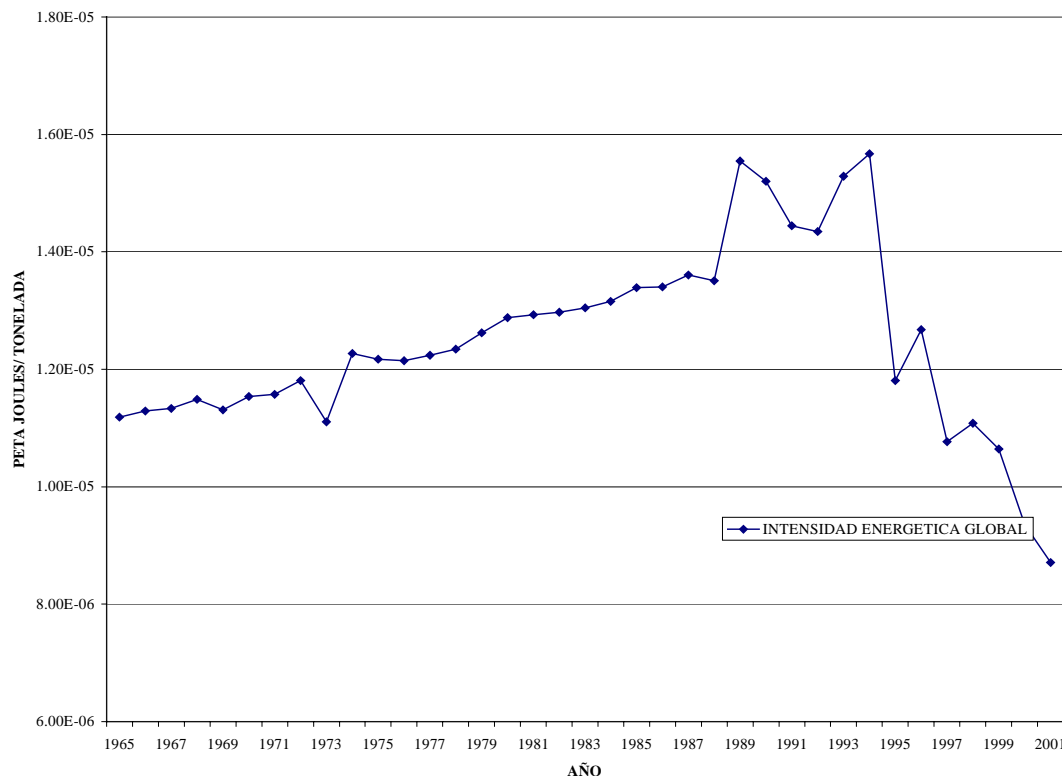
### **4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA INTENSIDAD ENERGETICA GLOBAL**

La intensidad energética global se entiende como el cociente entre el consumo total de energía y la producción total (papel + celulosa) para un determinado año. De esta manera, se calcula la intensidad energética global para cada uno de los años estudiados, y con base a estos resultados se obtiene la gráfica 4.4 que a continuación se presenta (los datos utilizados y resultados obtenidos se presentan en el apéndice E):

El análisis de los cambios sufridos en la intensidad energética global para los años en estudio (1965-2001), se realizará en los mismos períodos utilizados en los análisis anteriores.

se observa que para el primer período (1965-1975) la intensidad energética global presenta un comportamiento creciente durante la mayor parte de los años que lo comprenden a excepción del año comprendido entre 1972-1973 donde se percibe una disminución en la intensidad energética( disminuye aproximadamente un 6% ), lo cual indica que la proporción en que aumenta la producción de papel y celulosa es mayor que el incremento en el consumo de energía, debido al período histórico en que esto sucede, es difícil afirmar que este evento se haya debido a una mejora en la eficiencia de los procesos, por lo que se pensaría que probablemente se produjo papel y celulosa por algún otro medio mas rudimentario.

GRAFICA 4.4 INTENSIDAD ENERGETICA GLOBAL



Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía, de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel y Estadísticas Históricas de México (INEGI)

La intensidad energética en este período varía de  $1.12 \times 10^{-5}$  PJ/ton a  $1.22 \times 10^{-5}$  PJ/ton, correspondiendo a estos valores un incremento porcentual de 20%. El hecho de que la intensidad energética presente una tendencia a incrementarse durante este primer periodo implica que con el transcurso del tiempo los procesos de producción de celulosa y papel se hacen más ineficientes.

Para el segundo período (1975-1985) la intensidad energética continua en aumento, como se puede observar en la gráfica 4.4, registrándose un incremento porcentual del 9.8 %, lo que corresponde a un aumento de  $1.22 \times 10^{-5}$  PJ/ton en 1975 a  $1.34 \times 10^{-5}$  en 1985. Estos datos indican que durante estos diez años no se presentó ninguna mejora en los procesos de producción de la industria y como consecuencia de este estancamiento el mal uso de la energía continua en aumento.

Como se puede observar en la gráfica 4.4, el comportamiento de la intensidad energética en el tercer período (1975-1985) es muy irregular (al igual que el consumo de energía), ya que estos años representan una etapa de transición, debido a que abarca la etapa en la que se llega al más alto consumo energético registrado, sin presentarse un incremento en la producción que justifique dicho consumo (ver gráfica 4.2), y también comprende la etapa donde se empiezan a implementar medidas de ahorro energético, mediante la introducción de equipos más eficientes, así como también optimización de los procesos industriales, para que de esta manera pueda incrementarse la producción disminuyendo el consumo de energía y como



consecuencia mejorando de manera notable la intensidad energética. La tabla 4.6 muestra la variación de la intensidad energética global para este período.

Tabla 4.6 Intensidad energética global para el tercer periodo

<b>Año</b>	<b>Intensidad global (PJ/ton)</b>
<b>1985</b>	1.40E-05
<b>1986</b>	1.34E-05
<b>1987</b>	1.36E-05
<b>1988</b>	1.35E-05
<b>1989</b>	1.55E-05
<b>1990</b>	1.52E-05
<b>1991</b>	1.44E-05
<b>1992</b>	1.43E-05
<b>1993</b>	1.53E-05
<b>1994</b>	<b>1.57E-05</b>
<b>1995</b>	1.18E-05

En la tabla 4.6 podemos ver que en 1994 la intensidad alcanza su valor máximo registrado, lo que indica que es en este año cuando la industria de la celulosa y el papel se encuentra a los niveles más altos de ineficiencia energética, ya que el consumo de energía registrado no se justifica con la producción obtenida, es decir que el costo energético (y también económico y ambiental) de una tonelada de productos es muy alto.

Posteriormente en el último año de este período vemos que la intensidad empieza a disminuir como consecuencia de la disminución en el consumo de energía mientras la producción total se incremento (ver gráfica 4.2), por lo que podemos decir que la eficiencia en los procesos de producción empieza a operar en mejores condiciones que en los años anteriores, teniendo por lo tanto un mejor aprovechamiento energético. A partir de este último año el comportamiento de la intensidad energética tiende a disminuir, ya que a pesar de que en el siguiente periodo se presentan incrementos en esta, no se alcanzan valores tan grandes como en los períodos anteriores. Esta mejora en la eficiencia es atribuible a que durante este período la preocupación por el uso eficiente de la energía, y el cuidado del medio ambiente empiezan a tener mucha importancia a nivel mundial, motivo por el cual se empiezan a implementar diversas medidas de ahorro de energía, como son el uso de equipos más eficientes, optimización del proceso de producción, mantenimiento continuo, así como también la implementación de sistemas de cogeneración que es muy factible en esta industria.

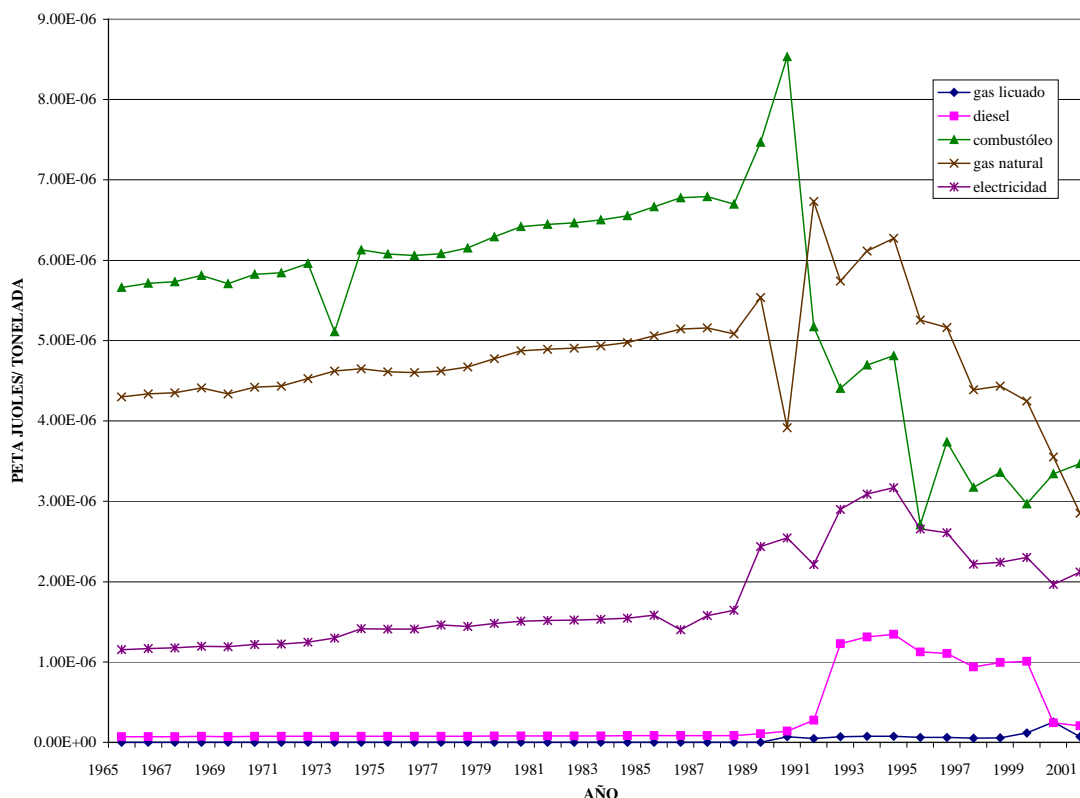
Después del abrupto decremento presentado en el último año del período anterior, el cuarto período inicia con un incremento en la intensidad del 7.6% y a partir de este último año y hasta el 2001 se observa una tendencia a disminuir (ver gráfica 4.4) llegando en el 2001 a un valor de  $8.7 \times 10^{-6}$ . El comportamiento del consumo energético para estos años muestra una tendencia decreciente, mientras que la producción se incrementa, por lo que podemos atribuir la disminución en el consumo energético a que

las mejoras en eficiencia energética iniciadas en el periodo anterior continúan implementándose.

#### 4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA INTENSIDAD ENERGETICA POR COMBUSTIBLE

La intensidad energética por combustible se entiende como el cociente entre el combustible en cuestión (ya sea combustóleo, gas natural, diesel, gas licuado, electricidad) y la producción total (celulosa más papel) para un determinado año. De esta manera se obtuvieron las intensidades energéticas por combustible empleado por la industria para cada año comprendido entre 1965 y el 2001, y mediante estos resultados se elaboró la gráfica 4.5 que se presentada a continuación. Los valores de las intensidades energéticas por combustible se presentan en el apéndice E.

GRAFICA 4.5 INTENSIDAD EN ENERGIA POR COMBUSTIBLE



Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía, y de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel y de las Estadísticas Históricas de México.

De acuerdo con la gráfica 4.5 de las intensidades energéticas, podemos observar que durante los dos primeros periodos, estas tuvieron un comportamiento regular, mientras que en el tercer y cuarto periodo el comportamiento de estas intensidades es bastante irregular como se verá en el siguiente análisis.

Durante el primer periodo (1965-1975) las intensidades fueron mayores para el combustóleo, ya que este fue el combustible de mayor importancia en dicho periodo,

como se mencionó en la sección 3.2. La intensidad energética para este combustible varió de  $5.66 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1965 a  $6.08 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1975.

La intensidad para el Gas Natural durante este período presenta un comportamiento ligeramente creciente ya que se incrementa de  $4.3 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1965 a  $4.61 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1975, correspondiendo a estos valores un incremento porcentual del 7.2 %, este incremento refleja el incremento en el consumo de este combustible que se presentó en dicho período.

Al igual que en los combustibles anteriores, la intensidad energética para la electricidad se incrementa durante todo el período variando de  $1.16 \times 10^{-6}$  PJ/ton a  $1.41 \times 10^{-6}$  PJ/ton registrándose un incremento porcentual del 21.6%. Al igual que la intensidad energética para el Gas Natural, el incremento en la intensidad para la electricidad refleja el incremento en el consumo eléctrico presentado en este período.

El diesel que es un combustible con uso muy reducido durante este período presentó una intensidad de  $7.1 \times 10^{-8}$  PJ/ton en 1965 y de  $7.61 \times 10^{-8}$  PJ/ton en 1975 que son valores muy pequeños, a los cuales corresponde una variación porcentual de 7.18%.

En el segundo período (1975-1985) el comportamiento de las intensidades energéticas para todos los combustibles es muy similar al período anterior, ya que todos presentan una tendencia ligeramente ascendente como se puede observar en la gráfica 4.5.

El combustóleo varió de  $6.08 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1975 a  $6.66 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1985 lo que corresponde a un incremento porcentual de 9.53 %. Para el Gas Natural se registró una variación porcentual del 9.76% llegando la intensidad energética de este combustible a  $5.06 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1985.

La intensidad energética para la electricidad presentó un incremento porcentual del 12% alcanzando un valor de  $1.58 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1985. Las variaciones para la intensidad energética del diesel fueron muy pequeñas, ya que esta permanece prácticamente constante como se puede observar en la gráfica 3.5, el valor registrado en 1985 para esta intensidad fue de  $8.32 \times 10^{-8}$  PJ/ton.

Durante estos dos períodos el combustible que más se utiliza por tonelada de papel y celulosa es el combustóleo, seguido por el gas natural, la electricidad y el diesel, lo que era de esperarse ya que las intensidades dependen de la cantidad del tipo de combustible que utilizó dicha industria. De la gráfica 4.5 vemos que las variaciones en la intensidad para cada uno de los combustibles no es muy grande, y esto se debe a que el porcentaje de uso de cada uno de estos combustibles se mantuvo aproximadamente constante en cada uno de estos períodos (ver sección 4.2).

En el tercer período (1985-1995) las intensidades energéticas para los diferentes combustibles presentan un comportamiento irregular como resultado de los cambios que se dan en el consumo de los diferentes combustibles, y cambios en la eficiencia de los procesos energéticos en dicho período.

La intensidad energética para el combustóleo varía ligeramente entre 1985 y 1988 registrándose una intensidad energética en 1988 de  $6.7 \times 10^{-6}$  PJ/ton. A partir de este

último año y hasta 1990 se tiene un incremento notable en la intensidad de este combustible, llegando a  $8.53 \times 10^{-6}$  PJ/ton que corresponde al mayor valor registrado para esta intensidad para el combustóleo en los años analizados, este incremento es consecuencia del incremento en el consumo de combustóleo, sin un incremento significativo en la producción (ver grafica 4.3).

A partir de este año y hasta 1995 la tendencia en la intensidad energética del combustóleo es decreciente a pesar de que entre 1992 y 1994 se presenta un ligero incremento en esta intensidad. En 1995 se registra una intensidad de  $2.71 \times 10^{-6}$  PJ/ton lo que corresponde a un decremento porcentual del 68% con respecto a 1990, esta caída en intensidad energética del combustóleo se debe por un lado a la disminución en el consumo total de energía que se da en estos años y por el otro a que el uso de combustóleo por la industria de la celulosa y el papel disminuye de manera importante como se vio en la sección 4.2.

El comportamiento de la intensidad energética para el Gas Natural en este periodo, es igualmente irregular que el de la intensidad para el combustóleo. Entre 1985 y 1988 la intensidad energética para este combustible vario en un 10.4 % pasando de  $5.06 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1985 a  $5.08 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1988. En el siguiente año de este período se presenta un ligero incremento en esta intensidad del 9% , para nuevamente decrecer entre 1989 y 1990 en un 29.2%. Entre 1990 y 1991 la intensidad energética de este combustible crece de manera muy acelerada ya que en este año (mismo en el que la intensidad del combustóleo decrece notablemente) se incrementa en un 71.7%, llegando a  $6.73 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1991, correspondiendo este valor al mayor valor registrado para este combustible durante todos los años analizados. Para los años restantes de este período podemos ver de la gráfica 4.5 que esta crece y decrece hasta 1995 llegando a un valor de  $5.26 \times 10^{-6}$  PJ/ton. El comportamiento de esta intensidad varia de acuerdo con las fluctuaciones que se dieron en el consumo de gas natural, ya que en este período pasa a ser el combustible más utilizado por esta industria (ver sección 4.22)

En lo que respecta a la intensidad energética para la electricidad se observa en la gráfica 4.4 que su tendencia en este período es ascendente, a pesar de que en algunos años se presentan algunos decrementos en esta intensidad. El valor de la intensidad en 1995 alcanza un valor de  $2.66 \times 10^{-6}$  PJ/ton, y el incremento porcentual correspondiente a todo el período es de 68%. De igual manera que para los demás combustibles , estos cambios responden a los cambios en el consumo de energía eléctrica de esta industria.

La intensidad para el diesel entre 1985 y 1991 crece lentamente, pero entre 1991 y 1995 su crecimiento es mas notable debido al incremento en el consumo de diesel que tubo lugar en estos años (ver gráfica 4.3) llegando a un valor de valor de  $1.12 \times 10^{-6}$  PJ/ton en 1995.

El gas L.P. como se mencionó en la sección 3.1 empieza a ser usado en este período y su intensidad energética vario de  $6.78 \times 10^{-8}$  PJ/ton en 1990 a  $6.23 \times 10^{-8}$  PJ/ton en 1995.

Para el último período de este análisis comprendido entre 1995 y el 2001 se observa en la gráfica correspondiente que las intensidades energéticas para los diferentes combustibles presentan una tendencia descendente, esto como consecuencia de un mejoramiento en el uso de la energía, ya que como se menciona en la sección 4.3 en este período la producción de celulosa y papel se incrementa, mientras el consumo total de energía tiende a disminuir.

En este período la intensidad energética para el Gas Natural se convierte en la más importante, ya que como se menciona en la sección 4.2 en este período el gas natural es el combustible más usado por esta industria. La intensidad energética para este combustible disminuye durante todo el período llegando a un valor de  $2.8 \times 10^{-6}$  PJ/ton. La caída total registrada para la intensidad energética del Gas Natural durante este período fue de 45.8%.

La intensidad energética para el combustóleo presenta un comportamiento irregular, ya que se incrementa y decreta de un año a otro, de igual manera que el consumo de este combustible, manteniéndose en un cierto nivel, ya que estos incrementos y decrementos no son muy grandes, el valor de la intensidad que corresponde al año 2001 es de  $3.47 \times 10^{-6}$  PJ/ton.

La intensidad energética eléctrica presenta una tendencia ligeramente descendente durante este período, a pesar de que el consumo eléctrico mantiene un nivel de consumo aproximadamente constante, por lo que podríamos concluir que en este período la electricidad se utiliza de manera eficiente. El valor de la intensidad el 2002 corresponde a  $2.12 \times 10^{-6}$  PJ/ton.

El comportamiento de la intensidad energética para el Diesel es decreciente durante todo este período, ya que varía de  $1.12 \times 10^{-6}$  PJ/ton a  $0.206 \times 10^{-6}$  PJ/ton, lo que corresponde a un decremento porcentual del 81.6%.

Y finalmente la intensidad energética del Gas L.P. también tiende a disminuir, ya que varía de  $6.23 \times 10^{-8}$  PJ/ton a  $6.85 \times 10^{-8}$  PJ/ton.

De este análisis podemos ver que la disminución en las intensidades energéticas para los diferentes combustibles es consecuencia de la disminución en el consumo de cada uno de ellos, y del incremento de la producción, lo que implica que esta industria ha tomado medidas de ahorro de energía tales como implementación de equipos más eficientes, y en algunos casos cogeneración, de tal manera que la eficiencia energética de la industria ha mejorado de manera notable, trayendo consigo beneficios económicos al ahorrar energía y también mejoras ambientales al disminuir las emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera como podremos ver en el siguiente capítulo.

## CAPITULO V

### TENDENCIAS HISTÓRICAS DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL

#### 5.1 DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LAS EMISIONES GLOBALES POR LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL

Los combustibles fósiles que son utilizados por la industria de la Celulosa y Papel son como se presento en la sección 4.2. Combustóleo, Gas Natural, Diesel y Gas LP, como consecuencia de esto, se tiene que los principales gases contaminantes emitidos hacia la atmósfera son CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) que es el de mayor importancia por la cantidad emitida, CO (monóxido de carbono) y No<sub>x</sub> (óxidos nitrosos).

Estos combustibles presentan diferentes índices de emisión para cada uno de los gases contaminantes emitidos durante su combustión, este índice depende de la composición química que cada combustible tenga, la cual a su vez depende de la procedencia de cada combustible.

A continuación se presentan los índices de emisión de CO<sub>2</sub> estequiométricos (combustión completa) estimados para el Combustóleo, Gas Natural, Diesel y Gas Licuado de origen nacional[12].

**Tabla 5.1 Índices de emisión de CO<sub>2</sub> para combustibles nacionales**

combustible	ton CO <sub>2</sub> /PJ
combustoleo	74960
gas natural	60950
Diesel	72780
gas licuado	60740

Fuente: Tesis de Doctorado: Estudio de la viabilidad de la cogeneración industrial. Gabriel León de los Santos marzo de 2003

El CO emitido por un determinado combustible, es función de la eficiencia de combustión; ya que cuando la combustión es completa todo el carbón se convierte en CO<sub>2</sub>. En la tabla 5.2 se presentan los valores de los índices de emisión con su respectiva eficiencia de combustión (La eficiencia de combustión se toma de los valores obtenidos de un gran número de mediciones realizadas en calderas industriales operando actualmente en la industria mexicana y de los valores garantizados por fabricantes de calderas).

La formación de óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, no depende de la eficiencia de combustión, ni de la eficiencia agua-vapor de la caldera, la formación de los NO<sub>x</sub> depende exclusivamente de la temperatura de combustión y de la cantidad de nitrógeno que esté presente y pueda combinarse con el oxígeno. Los valores para los índices de emisión de NO<sub>x</sub> para los diferentes combustibles presentados en la tabla 5.2 son valores promedio de mediciones realizadas en calderas operando en la industria nacional con capacidades desde 40CC hasta 2200 CC.

**Tabla 5.2 Índices de emisión de Co y NOx para combustibles**

**nacionales**

Combustible	Indices de emisión de CO (ton CO/PJ)	Eficiencia de combustión	Indices de emisión de NO <sub>x</sub> (ton NO <sub>x</sub> /PJ)
combustóleo	28.5	99.96 %	23.3
gas natural	0.73	99.99 %	11,6
Diesel	14.56	99.98 %	35.6
gas licuado	1.82	99.99 %	10.4

Fuente: Tesis de Doctorado: Estudio de la viabilidad de la cogeneración industrial.  
Gabriel León de los Santos, marzo de 2003

De acuerdo con los datos de la Tabla 5.1 se observa que las emisiones de CO<sub>2</sub> para estos combustibles es mucho mayor que las emisiones de CO y NO<sub>x</sub>, esto como ya sabemos representa para nuestro país y sobre todo en el área metropolitana, uno de los principales problemas ambientales, ya que no sólo la industria de la Celulosa y el Papel utiliza estos combustibles, sino que la mayor parte de todo el sector industrial ha hecho uso de ellos[33].

Las tabla 5.1 y 5.2 muestran que de estos combustibles, es el combustóleo el que emite mayor cantidad de CO<sub>2</sub> estequiométrico por cada Peta Joule utilizado, seguido por el Diesel, el Gas Natural y finalmente el Gas Licuado. En la sección 4.2 se muestra al combustóleo como el combustible más utilizado en la industria de la Celulosa y el Papel a lo largo de su historia, a excepción de los últimos años, razón por la cual el problema ambiental ha alcanzado las dimensiones actuales. El combustóleo se encuentra también como la principal fuente de emisiones estimadas de CO y en segundo lugar en emisiones estimadas de NO<sub>x</sub>.

Como se puede apreciar en la tabla 5.1 y 5.2 las cantidades emitidas de CO<sub>2</sub> por cada PJ de energía consumida, son las de mayor importancia comparada con las cantidades emitidas de los demás contaminantes. Razón por la cual este capítulo se enfocara al estudio de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> por la industria de la celulosa y el papel

Para obtener las emisiones anuales de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y CO, se realiza el producto del consumo anual correspondiente a cada combustible y del correspondiente índice de emisión (ya sea de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y CO) para de esta manera obtener la cantidad de cada uno de los gases contaminantes emitidos por cada uno de los combustibles utilizados y finalmente obtener las emisiones totales para cada año en cuestión. Los resultados obtenidos con este procedimiento se muestran en el apéndice F.

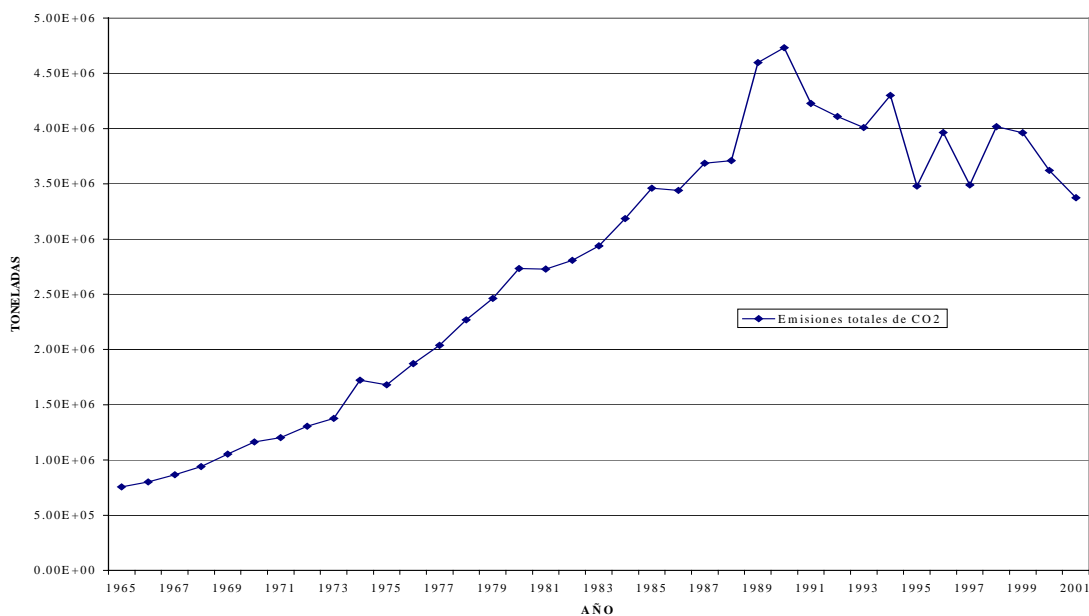
El procedimiento anterior se utiliza únicamente para los combustibles fósiles, para obtener la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por consumo de energía eléctrica se utiliza un método distinto, ya que en este caso el índice de emisión varia año con año, esto se debe a que para la generación de energía eléctrica se utilizan diferentes combustibles como son, el Gas Natural, Combustóleo, Diesel y Carbón. Para obtener el índice de emisión de CO<sub>2</sub> anual se utilizan los índices de emisión de CO<sub>2</sub> estequiométricos (para el carbón el índice de emisión de CO<sub>2</sub> estequiométrico es de 83450 ton CO<sub>2</sub>/PJ), estos índices se multiplican por el consumo anual utilizado para generación eléctrica de cada uno de estos combustibles, y se obtiene el total de emisiones de CO<sub>2</sub>, finalmente este total de emisiones se divide entre la generación eléctrica del correspondiente año y de esta manera se obtiene el índice anual respectivo para cada año. Los datos

utilizados para este calculo, el procedimiento realizado y los resultados obtenidos se muestran en el apéndice G.

Con los datos de emisiones totales obtenidos se realizaron las gráficas 5.1 de emisiones totales de CO<sub>2</sub> y 5.2 de emisiones totales de CO, y NO<sub>x</sub> que a continuación se presentan:

Nota: Debido a la diferencia de magnitud entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> y CO, se decidió realizar dos graficas y no una sola.

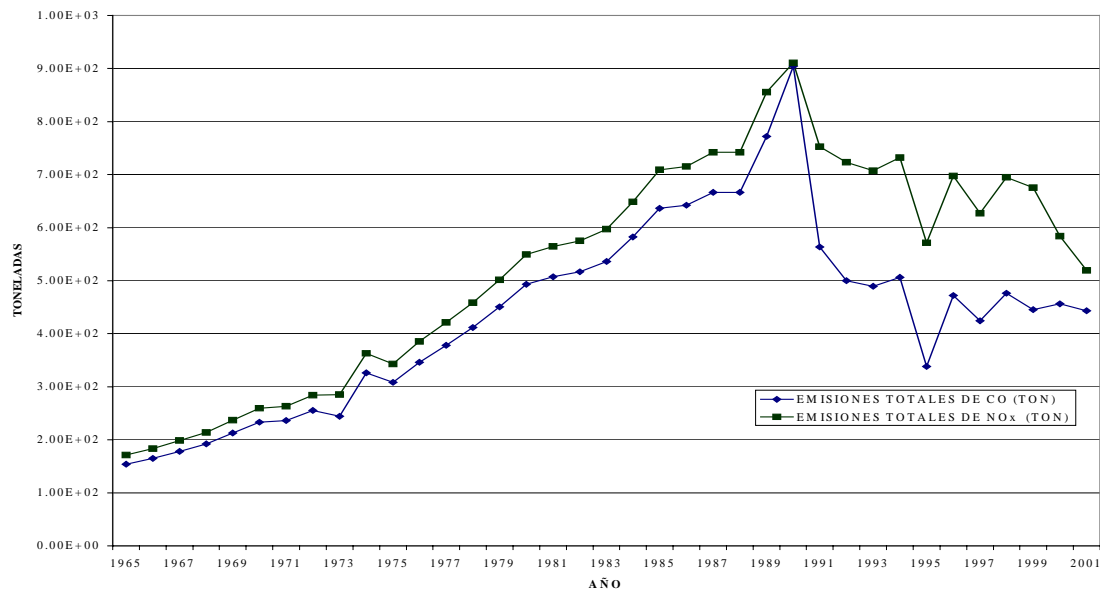
GRAFICA 5.1 EMISIONES TOTALES DE CO<sub>2</sub>



Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 1996 y 2001, y valores de la tabla 5.1



GRAFICA 5.2 EMISIONES TOTALES DE CO Y NOx



Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 1996 y 2001, y datos de la tabla 5.1

Las emisiones de CO<sub>2</sub> representaron desde 1965 y hasta 1989 el 64% del total de los gases contaminantes emitidos hacia la atmósfera por la industria de la Celulosa y el Papel, para 1990, las emisiones de CO<sub>2</sub> alcanzaron su máximo nivel, llegándose a emitir 655,788 toneladas, lo que representa el 74% del total de los gases emitidos por esta industria, ver apéndice F, a partir de este año se nota una clara disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para el análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> se consideran los períodos ya establecidos en los capítulos anteriores.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el primer período (1965 - 1975) muestran un comportamiento creciente durante prácticamente todos los años que este comprende, a excepción del último año (1974 y 1975) donde se presenta un ligero decremento como se puede ver en la gráfica 5.1. Las emisiones de CO<sub>2</sub> variaron de 755,520 ton de CO<sub>2</sub> en 1965 a 1.7 millones de ton de CO<sub>2</sub> en 1975, lo que corresponde a un incremento porcentual del 122.3% para todo el periodo. Este incremento en las emisiones responde al incremento en el consumo total energético y a la importancia que mantiene el uso de combustóleo durante este período (ver gráficas 4.1 y 4.3), ya que como mencionamos al inicio de este capítulo es el combustible que tiene mayor índice de emisión de CO<sub>2</sub>.

Comparando el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el comportamiento del PIB, vemos en la gráfica 5.1 que en este período, el mantener una situación de crecimiento económico para el país trae como resultado un incremento en emisiones de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto se empieza a generar un impacto negativo hacia el medio ambiente. En el segundo periodo (1975-1985), el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>

continúa con la tendencia de crecimiento del periodo anterior, variando las emisiones de 1.7 millones de ton de CO<sub>2</sub> a 3.5 millones de ton, lo que corresponde a un incremento porcentual de 106%.

Los incrementos en emisiones registrados en estos períodos coinciden con el comportamiento presentado del consumo de energía total, además de que el combustóleo continúa siendo el combustible de mayor uso en la industria.

Nuevamente en este período, el crecimiento económico indicado por el PIB, y la carencia de conciencia ecológica, trae consigo el incremento de emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera.

El tercer período comprendido entre 1985 y 1995, ya no presenta un comportamiento tan regular como en los dos periodos anteriores, ya que las emisiones de CO<sub>2</sub> presentan incrementos y decrementos abruptos, como se observa en la gráfica 5.1. Este comportamiento es un reflejo de las también abruptas variaciones en el consumo energético total y de los cambios en el uso de combustible presentado en este período.

Para los años comprendidos entre 1985 y 1990 se observa en la gráfica 5.1 que las emisiones de CO<sub>2</sub> presentan una tendencia ascendente, llegándose a emitir en este último año aproximadamente 4.7 millones de ton de CO<sub>2</sub>, que corresponde al valor máximo de emisiones de CO<sub>2</sub> registrado en los 36 años considerados en este análisis. Las causas de crecimiento de emisiones hasta este último año son las mismas que en los dos primeros periodos, es decir el incremento en el consumo de energía total (considerando que ya existe una gran ineficiencia en los procesos de producción), y que hasta este año el combustóleo es el combustible más utilizado en dicha industria. Cabe mencionar que es en 1990 cuando tanto el consumo de energía total y el consumo de combustóleo alcanzan su valor máximo registrado.

Entre 1990 y 1995 se empieza a percibir una tendencia a disminuir en las emisiones de CO<sub>2</sub>, a pesar de que entre 1993 y 1994 se presenta un incremento (ver grafica 5.1). En 1995 las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, se redujeron a un valor de aproximadamente 3.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, correspondiendo un decremento porcentual de 25% con respecto a 1990.

Esta disminución en emisiones se da como resultado de la disminución en el consumo total de energía (provocado por la disminución en la producción total), y por un cambio importante en el uso de combustible, ya que es a partir de 1990 cuando el combustóleo empieza a ser sustituido por el gas natural que es un combustible que emite menos toneladas de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera por cada petajoule consumido, es decir que es un combustible que tiene un impacto ambiental menor al del combustóleo (ver sección 4.1 y 4.2).

La situación económica del país, deja de marcar entre 1990 y 1995 el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> (así como también el comportamiento del consumo de energía y de la producción), ya que mientras el PIB crece entre 1990 y 1994, las emisiones disminuyen, y cuando se presenta la crisis económica sufrida en nuestro país entre 1994 y 1995 con una consecuente disminución en el PIB, las emisiones

disminuyen pero no debido a cuestiones económicas, ya que la principal causa de esta disminución es el cambio en el uso de combustible.

En el último período comprendido entre 1995 y el 2001, las emisiones se incrementan y decrecientan de un año a otro manteniéndose alrededor de un valor promedio, como se aprecia en la gráfica 5.1. La cantidad total de emisiones de CO<sub>2</sub> en el 2001 es de 3.4 millones de ton de CO<sub>2</sub>, es decir que la emisiones hasta este año se redujeron en un 28% con respecto al valor máximo de emisiones registrado en 1990.

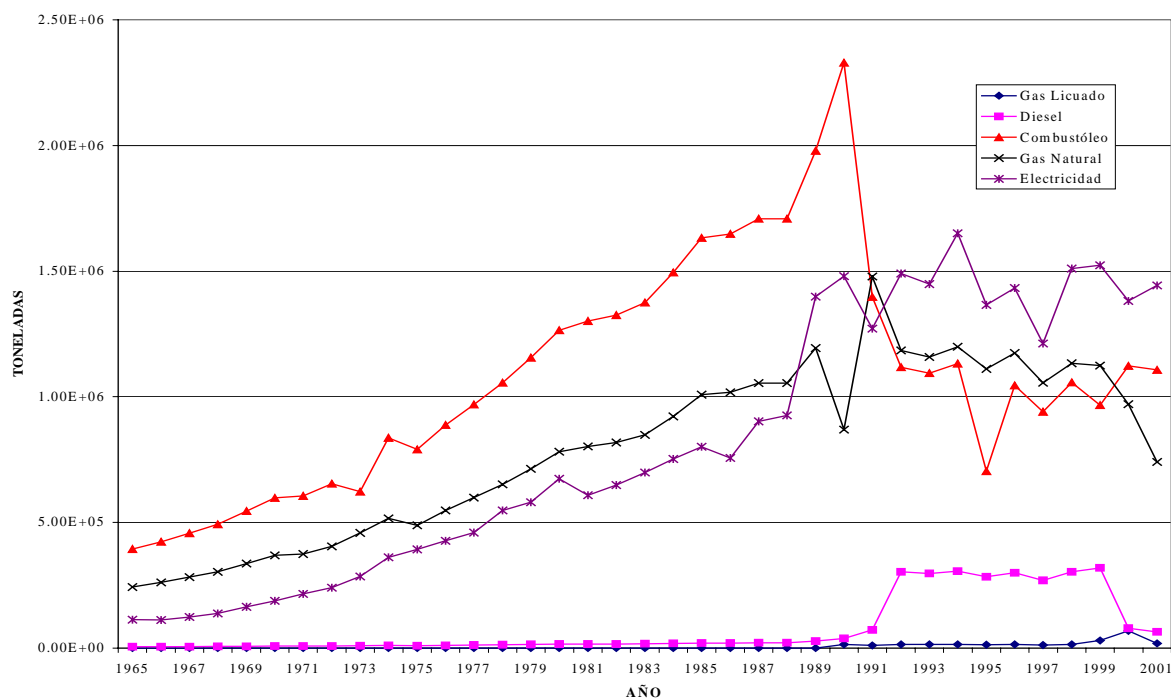
El incremento en el consumo energético presentado en los primeros dos periodos y parte del tercero, considerando que el combustóleo fue en estos años el combustible de mayor uso por la industria, trae como consecuencia el inevitable incremento de emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera. Es importante resaltar que en los últimos años y como se observó en el análisis presentado, la preocupación por el cuidado del medio ambiente y de los recursos energéticos ha llevado a esta industria ha implementar tecnologías anticontaminantes, así como también llevar a cabo cambios en el uso de combustibles, con lo cual las emisiones de CO<sub>2</sub> se han disminuido notablemente.

## **5.2 DESCRIPCIÓN HISTÓRICA DEL COMPORTAMIENTO DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR COMBUSTIBLE.**

A continuación se hará la descripción del comportamiento histórico de las emisiones de CO<sub>2</sub> por cada una de las fuentes de energía utilizadas en la industria de la celulosa y el papel. El análisis se hará con base en los cuatro periodos considerados con anterioridad (los datos utilizados y cálculos realizados se muestran en el apéndice F).

En la gráfica 5.3 que se muestra a continuación se observa como han variado al transcurrir el tiempo las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a cada uno de los combustibles utilizados en la elaboración de celulosa y papel, se observa como las emisiones debidas a el uso de combustóleo, gas natural y electricidad crecieron hasta llegar a un punto máximo y a partir de este la tendencia ha sido a disminuir. Este comportamiento está naturalmente ligado al consumo de cada uno de los combustibles y a su índice de emisión, ya que el combustóleo fue en los primeros 25 años el combustible de mayor uso en la industria y el de mayor índice de emisión de CO<sub>2</sub>, ha sido el combustible que más ha contribuido al incremento de emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del tiempo.

GRAFICA 5.3 EMISIONES DE CO2 POR COMBUSTIBLE



Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 1996 y 2001, y la tabla 5.1

Durante el primer periodo de este análisis (1965-1975) las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al uso de combustóleo y Gas Natural, ocuparon el primer lugar en importancia, ya que el uso de estos fue el más intensivo durante este periodo y como se observa, fueron básicamente los que determinaron el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante este periodo.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementan durante prácticamente todo el periodo, representando el 52% del total de emisiones en 1965 y el 47% en 1975. En la tabla 5.3 se muestra la participación porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al uso de combustóleo para cada uno de los años que comprenden este periodo.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al uso de Gas Natural ocupan el segundo lugar en importancia durante este periodo y al igual que las emisiones debida al uso de combustóleo, estas tienden a incrementarse, representando en 1965 el 32.2 % de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> producidas por esta industria y el 29% en 1975( ver tabla 5.3).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo eléctrico ocuparon durante todo este periodo el tercer lugar en importancia, y su tendencia fue a incrementarse como se puede observar en la gráfica 5.3, contribuyendo en 1965 con el 15% de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por esta industria y en 1975 con el 23% de este total.

Con respecto a las emisiones producidas por el uso de Diesel se observa que no tienen gran relevancia en la contribución de emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que durante todo el periodo no contribuyen ni con el 1% del total de emisiones como se puede ver en la tabla 5.3.

**tabla 5.3 Participación porcentual de la emisiones totales de CO<sub>2</sub> por combustible para el primer periodo**

año	combustóleo	gas natural	electricidad	diesel
1965	52.18%	32.20%	14.98%	0.64%
1966	52.81%	32.59%	13.96%	0.64%
1967	52.68%	32.52%	14.16%	0.64%
1968	52.34%	32.31%	14.71%	0.63%
1969	51.81%	31.98%	15.58%	0.63%
1970	51.43%	31.75%	16.19%	0.63%
1971	50.39%	31.10%	17.89%	0.61%
1972	50.11%	30.93%	18.35%	0.61%
1973	45.30%	33.31%	20.74%	0.66%
1974	48.51%	29.94%	20.96%	0.59%
1975	47.03%	29.06%	23.34%	0.57%

Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 1996

En la gráfica 5.3 podemos ver que las emisiones de CO<sub>2</sub> para los años comprendidos entre 1975 y 1985 debidas al uso de combustóleo, gas natural y electricidad continúan en crecimiento, ya que el consumo de estos combustibles mantuvo una tendencia creciente durante este período (ver sección 4.2).

Las emisiones debidas al uso de combustóleo continúan siendo las mas importantes en estos años, ya que su participación porcentual gira alrededor del 50% durante todo el periodo (ver tabla 5.4).

Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al uso de gas natural, vemos de la grafica 5.3, que continúan ocupando el segundo lugar en importancia durante este período (al igual que el consumo de este combustible), y de la tabla 5.4 podemos ver que su participación porcentual del total de emisiones varía entre un 29% y 30% .

Con respecto al CO<sub>2</sub> emitido por el consumo de energía eléctrica, se observa que también continua con una tendencia creciente durante todo el período, variando su participación porcentual del total de emisiones entre un 22 % y 25%.

Finalmente para las emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de Diesel se puede observar que prácticamente permanecieron constantes al nivel del periodo anterior, manteniendo su participación porcentual de la emisiones totales alrededor del 0.6% (ver tabla 5.4).

**tabla 5.4 Participación porcentual en la emisiones totales de CO<sub>2</sub> por combustible para el segundo periodo**

año	combustóleo	gas natural	electricidad	diesel
1975	47.03%	29.06%	23.34%	0.57%
1976	47.38%	29.25%	22.80%	0.57%
1977	47.55%	29.35%	22.52%	0.58%
1978	46.55%	28.73%	24.15%	0.56%
1979	46.90%	28.95%	23.59%	0.57%
1980	46.26%	28.55%	24.63%	0.56%
1981	47.69%	29.43%	22.30%	0.58%
1982	47.18%	29.13%	23.12%	0.57%
1983	46.79%	28.88%	23.76%	0.57%
1984	46.88%	28.94%	23.61%	0.57%
1985	47.17%	29.12%	23.14%	0.57%

Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 1996

En la gráfica 5.3 podemos observar que durante el tercer periodo (1985-1995) las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al uso cada una de las fuentes energéticas utilizadas presentan un comportamiento muy irregular, como consecuencia directa del comportamiento del consumo que presentó cada una de estas fuentes.

Para las emisiones producidas por el uso de combustóleo, se puede apreciar que estas continúan incrementándose entre 1985 y 1990, año en el cual alcanzan su nivel máximo histórico registrado (aproximadamente 2.3 millones de toneladas) y participando en este momento con el 49% de las emisiones totales, este máximo en las emisiones de combustóleo era de esperarse, ya que en 1990 se registro el máximo histórico del consumo de combustóleo (ver sección 4.2). Para los siguientes años (1990-1995), se percibe una abrupta caída en las emisiones por uso de combustóleo, ya que es justo en estos años cuando el combustóleo empieza a ser sustituido por el gas natural (ver gráfica 4.3), ya que el uso de este último combustible emite una menor cantidad de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera por cada Petajuole que se consume. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se redujeron en 1995 hasta un valor de 704,324 ton de CO<sub>2</sub> y contribuyendo en este momento con el 20% del total de emisiones.

El comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por uso de Gas Natural presenta también un comportamiento irregular, ya que en algunas etapas las emisiones tienden a incrementarse y otras en las que tienden a disminuir, tal y como se presentaron las variaciones en el consumo del gas natural. Entre 1985 y 1989 la emisiones tienden a incrementarse, para posteriormente entre 1989 y 1990 disminuir y nuevamente incrementarse alcanzando su máximo valor histórico en 1991 ( año en el cual el consumo de gas natural también alcanza su máximo consumo registrado) , emitiéndose en este momento aproximadamente 1.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, y contribuyendo con el 35% de la emisiones totales. A partir de este año y hasta 1995 la tendencia de estas emisiones es a disminuir hasta llegar a un valor de emisiones de 1.1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, y participando en este momento con el 32% de las emisiones totales.

Si observamos la gráfica 5.3 vemos que durante este tercer periodo (entre 1988 y 1989) la participación porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al uso de gas natural ya no ocupan el segundo lugar en importancia, ya que son superadas por las emisiones por consumo eléctrico, situación que no sucede con las respectivas participaciones en el consumo de estos combustibles, ya que en este periodo y en el

siguiente el consumo de gas natural ocupa el segundo lugar en importancia. Si observamos la participación porcentual de las emisiones por consumo eléctrico (ver tablas 5.3, 5.4 y 5.5) podemos darnos cuenta que dicha participación porcentual adquiere mayor importancia al transcurrir el tiempo, hasta llegar a ocupar el primer lugar en importancia durante la parte final del tercer período, comportamiento que no se justifica por el consumo eléctrico, ya que este a pesar de que se incrementa en este período y en el siguiente se mantiene siempre en el tercer lugar en importancia.

Este incremento tan importante que se da en las emisiones de CO<sub>2</sub> se debe a que en la generación eléctrica se utilizan diferentes combustibles, entre los cuales se hallan el combustóleo y el carbón (ver apéndice G), cuyos índices de emisión de CO<sub>2</sub> son de los más elevados (74,960 ton de CO<sub>2</sub> por PJ y 83,450[12] ton de CO<sub>2</sub> por PJ respectivamente). Ya que el combustóleo es el combustible de mayor uso en la generación eléctrica y que el uso de carbón en la en los últimos años se ha visto incrementado, se presenta un incremento bastante considerable en las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al consumo de electricidad en esta industria.

El comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el consumo eléctrico durante este tercer período, presentó una tendencia ascendente, pasando del tercer lugar en importancia al primer lugar en los últimos años de este período (a partir de 1992), este crecimiento tan notable en las emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo eléctrico queda justificado con la explicación que se presento en los párrafos anteriores. En 1994 estas emisiones alcanzan su máximo nivel con 1.6 millones de ton de CO<sub>2</sub>, representando en este momento el 38% del total emitido y finaliza el período emitiendo una cantidad de 1.4 millones de ton en 1995 (valor ligeramente menor que el año anterior) y participando con el 39% de las emisiones totales en este ultimo año.

Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el consumo de diesel, estas presentan muy poca variación entre 1985 y 1991 con respecto al período anterior, entre 1991 y 1992, estas emisiones se incrementan llegando a producir 72343 ton de CO<sub>2</sub>, contribuyendo en este momento con el 1.7% del total de este año. Este nivel de emisiones se mantuvo prácticamente constante hasta 1995(ver tabla 5.5).

Ya que el gas L.P. se empieza a utilizar a partir de 1990, es cuando las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a su uso contribuyen con una mínima cantidad entre 1990 y 1995 como se puede apreciar en la tabla grafica 5.3.

**tabla 5.5 Participación porcentual en la emisiones totales de co<sub>2</sub> por combustible para el tercer periodo**

año	combustóleo	gas natural	electricidad	diesel	gas l.p.
1985	47.17%	29.12%	23.14%	0.57%	0.00%
1986	47.89%	29.56%	21.98%	0.58%	0.00%

1987	46.36%	28.61%	24.47%	0.56%	0.00%
1988	46.06%	28.43%	24.96%	0.55%	0.00%
1989	43.04%	25.96%	30.41%	0.59%	0.00%
1990	49.24%	18.38%	31.28%	0.80%	0.32%
1991	33.03%	34.95%	30.07%	1.71%	0.25%
1992	27.21%	28.82%	36.26%	7.37%	0.34%
1993	27.27%	28.88%	36.12%	7.38%	0.34%
1994	26.31%	27.87%	38.36%	7.13%	0.33%
1995	20.25%	31.94%	39.27%	8.16%	0.38%

Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 2001

Para el último período de este análisis (1995- 2001) son las emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo eléctrico las contribuyen con una participación porcentual mayor del total de emisiones de la industria de la celulosa y el papel, debido a los combustibles que se utilizan en la generación de esta. El comportamiento de estas emisiones presenta ciertas irregularidades ya que se incrementa y decreta de un año a otro, pero su participación porcentual del total de emisiones oscila entre un 34% y 43% , emitiéndose en el 2001 1.4 millones de ton de CO<sub>2</sub> .

El comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de gas natural para los primeros años de este período (1995-1999) crece y decrece de un año a otro y entre 1999 y el 2001 disminuyen notablemente debido a que en este mismo año se registro una caída en el consumo de este combustible, registrándose así en este último año 740,847 ton de CO<sub>2</sub> emitidas y contribuyendo con el 22% del total.

Después de que combustóleo deja de ser el combustible de mayor uso para esta industria, las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a su uso ocupan el tercer lugar en importancia, ya que son superadas por las emisiones debidas al uso de gas natural y al consumo eléctrico, el comportamiento de la variación de estas emisiones es irregular ya que crece y decrece de un año a otro, pero a pesar de esto se puede apreciar de la gráfica 5.3 que existe una tendencia ligeramente ascendente, y ya que entre 1999 y el 2001, el consumo de gas natural disminuye con una consecuente disminución en las emisiones debidas a su uso, las emisiones debidas al uso de combustóleo ocupan entre el 2000 y el 2001 el segundo lugar en importancia en las emisiones totales. En este último año se emiten 1.1 millón ton de CO<sub>2</sub>, debidas al uso de combustóleo, representando esta cantidad el 32.8% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> de esta industria( la variación en la participación porcentual anual se presentan en la tabla 5.6).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de diesel se mantuvieron prácticamente constantes al nivel del período anterior, y en el 2001 se registraron 63,973.62 ton de CO<sub>2</sub>, produciendo el 1.9% del total de emisiones de CO<sub>2</sub>. Mientras tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el consumo de Gas L.P. se incrementan ligeramente llegando a emitirse en el 2001 17,736.08 ton de CO<sub>2</sub> contribuyendo únicamente con el 0.52% del total de emisiones de CO<sub>2</sub>, producidos por la industria de la celulosa y el papel (ver tabla 5.6).

**tabla 5.6 Participación porcentual en la emisiones totales de co<sub>2</sub> por combustible para el cuarto periodo**

año	combustóleo	gas natural	electricidad	diesel	gas l.p.
-----	-------------	-------------	--------------	--------	----------



1995	20.25%	31.94%	39.27%	8.16%	0.38%
1996	26.36%	29.60%	36.13%	7.56%	0.35%
1997	26.93%	30.24%	34.74%	7.73%	0.36%
1998	26.31%	28.21%	37.58%	7.55%	0.35%
1999	24.39%	28.36%	38.44%	8.05%	0.76%
2000	30.99%	26.79%	38.15%	2.18%	1.90%
2001	32.82%	21.96%	42.79%	1.90%	0.53%

Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 2001

### 5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA INTENSIDAD EN EMISIONES DE CO<sub>2</sub> GLOBALES.

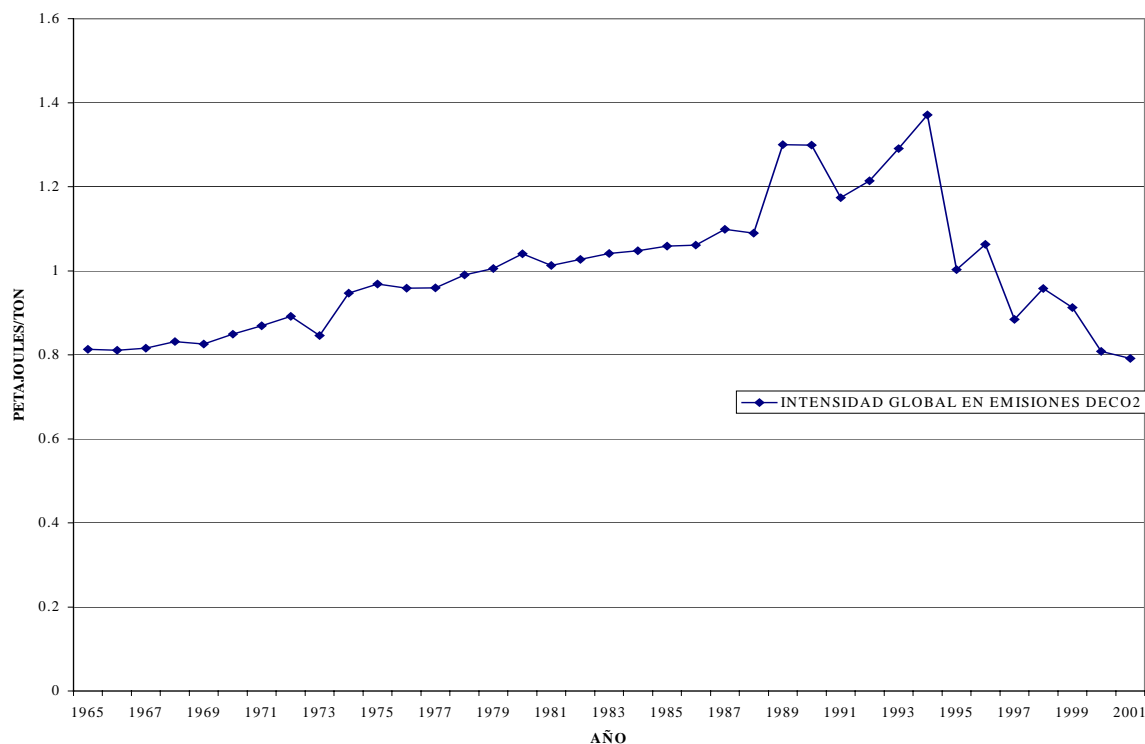
La intensidad en emisiones globales de CO<sub>2</sub> la definimos como el cociente entre las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en un determinado año y la producción total de celulosa más papel para el mismo año. De acuerdo con esta definición se entiende que la intensidad en emisiones del gas en cuestión estima cuantas toneladas de CO<sub>2</sub> fueron emitidas hacia la atmósfera por cada tonelada de papel o celulosa producida en un determinado año.

Utilizando esta definición se calculó la intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> para cada uno de los años considerados en este análisis, obteniendo los valores que se presentan en el apéndice F y mediante los cuales se realizó la gráfica 5.4 de intensidades de emisiones de CO<sub>2</sub> global que se presenta a continuación.

Para el análisis de esta intensidad continuaremos considerando los cuatro períodos utilizados en los análisis anteriores.

De la gráfica 5.4 vemos que durante el primer período (1965-1975) la intensidad en emisiones presenta un comportamiento creciente durante prácticamente todos los años que integran este período, variando desde 0.81 ton de CO<sub>2</sub> / ton de producto en 1965 a 0.97 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto en 1975, correspondiendo un incremento porcentual del 20%. Este crecimiento en la intensidad en emisiones refleja que al transcurrir el tiempo por cada tonelada de producto obtenido se emite mayor cantidad de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, lo que implica un costo ambiental mayor cada año y una menor eficiencia energética.

GRAFICA 5.4 INTENSIDAD GLOBAL EN EMISIONES DE CO2



Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía y de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel

En el segundo periodo que va de 1975 a 1985 la intensidad en emisiones continua presentando un comportamiento ascendente como se observa en la gráfica 5.4, alcanzando un valor de 1.089 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto en 1985, registrándose un incremento porcentual del 9.4% con respecto a 1975.

El comportamiento ascendente que se da en los dos primeros periodos es consecuencia, como es natural del comportamiento creciente que mantuvo el consumo de energía durante los mismos, y en particular a la cantidad de combustóleo que se consumió, ya que al incrementarse su consumo da como resultado un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera.

Mientras que en los dos primeros periodos la intensidad en emisiones presentó un crecimiento continuo, en el tercer período como era de esperarse se presenta un comportamiento irregular, ya que tanto las emisiones como la producción total presentan un comportamiento variable.

Entre 1985 y 1988 la intensidad en emisiones se incrementa solamente en un 2.8 %, pero entre 1988 y 1989 el incremento en esta intensidad es notable, ya que se incrementa en un solo año en un 19.3%, llegándose a emitir en este último año 1.3 ton de CO<sub>2</sub>/ ton de producto, este incremento es resultado de un rápido incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> y no así en la producción, ya que esta solo presenta un ligero

incremento en este año (ver gráfica 4.2). Entre 1989 y 1990 la intensidad prácticamente permanece constante, y entre 1990 y 1991 la intensidad disminuye rápidamente reduciéndose en un 9.6 %, este decremento en la intensidad es consecuencia de una disminución notable en las emisiones de CO<sub>2</sub> mientras que la producción total no presenta una caída considerable, recordando la sección 4.2 es en este lapso de tiempo cuando se empieza a sustituir el consumo de combustóleo por gas natural, motivo por el cual disminuyen dichas emisiones. En los siguientes tres años (1992-1994) de este período la intensidad nuevamente se incrementa de manera bastante rápida, llegando a su valor máximo registrado durante los cuatro periodos de estudio, alcanzando un valor de 1.371 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto, comportamiento que se debe a que la producción disminuye de manera más rápida que las emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo esto consecuencia directa de que en 1994 es el año en el que la eficiencia energética alcanza su valor máximo registrado. Para el último año comprendido dentro de este periodo se observa que la intensidad cae bruscamente llegando a un valor de 1 ton de CO<sub>2</sub> / ton de producto, correspondiendo un decremento porcentual de 26.9% con respecto al año anterior, esto es resultado de la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> (ya que el consumo total de energía y el consumo de combustóleo continúan disminuyendo) y de un incremento correspondiente en la producción, lo que implica una clara mejora en la eficiencia en el proceso de producción.

Finalmente en el último período de este análisis comprendido entre 1995 y el 2001, la intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> presenta incrementos y decrementos de un año a otro, pero se observa que la tendencia es a disminuir como resultado de la disminución en emisiones y un incremento en la producción. Entre 1995 y 1996 se presenta un ligero incremento después de la abrupta caída del año anterior, para el siguiente año (1996-1997) la intensidad nuevamente disminuye, para incrementarse otra vez entre 1997 y 1998, a partir de este último año y hasta el 2001, la intensidad disminuye llegando a un valor de 0.79 ton de CO<sub>2</sub>/ ton de producto, valor que es menor que el valor de esta intensidad registrado en 1965, lo que indica una clara mejora en la eficiencia de uso de los combustibles, así como también el cambio de estos, ya que la producción en el 2001 es 4.5 veces mayor que la producción el 1965.

Con base en este análisis se puede decir, que las medidas de ahorro de energía y eficiencia de los diferentes procesos de producción contribuyen a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> sin tener repercusiones en la producción.

#### **5.4 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA INTENSIDAD DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR COMBUSTIBLE**

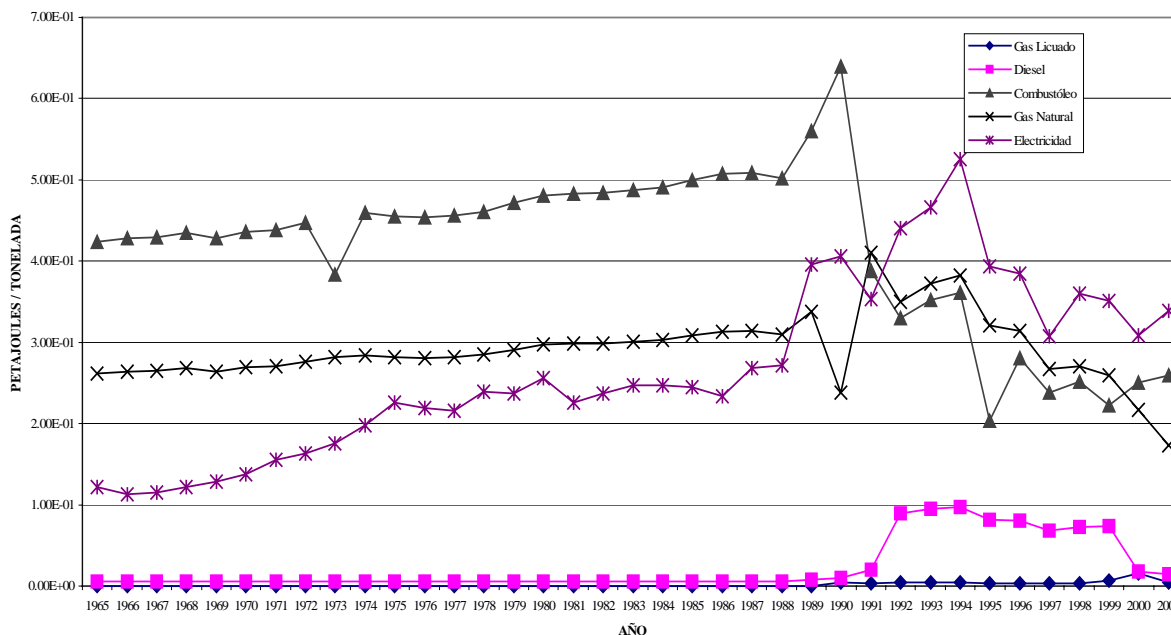
En esta sección se describirá el comportamiento de la intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> para cada una de las fuentes energéticas utilizadas por la industria de la celulosa y el papel, quedando definida cada una de estas intensidades como el cociente entre las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al uso de un combustible para un año en particular y la producción total de celulosa mas papel del mismo año.

Esta intensidad en emisiones nos indica la cantidad de CO<sub>2</sub> que es emitida hacia la atmósfera por cada tonelada de producto debidas al uso de un combustible en

específico.

Los valores de las intensidades en emisiones para los combustibles utilizados en esta industria para el período de 1965 al 2001 se presentan en el apéndice F, y la gráfica obtenida correspondiente a los mismos, se presenta a continuación.

GRAFICA 5.5 INTENSIDAD EN EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR COMBUSTIBLES



Fuente propia con datos del Balance Nacional de Energía 1996, 2001 y de la Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel

Este análisis se presenta para los cuatro periodos definidos anteriormente.

Para el primer periodo de este análisis (1965-1975) se observa de la gráfica 5.5, que la intensidad en emisiones para el combustóleo es la de mayor relevancia en estos años, su comportamiento es prácticamente creciente durante todo el período, (ya que tanto las emisiones por uso de combustóleo como la producción total se incrementaron), a excepción de los años comprendidos entre 1972 y 1973 donde esta intensidad disminuye como consecuencia de la disminución que se presenta en consumo de combustóleo en este mismo año. La variación porcentual de esta intensidad en emisiones corresponde a un valor de 4.5%

La intensidad en emisiones para el Gas Natural se incrementa ligeramente durante este primer período ya que cambia de 0.2619 en 1965 a 0.2817 ton de CO<sub>2</sub>/ ton de producto en 1975, correspondiendo a estos valores un incremento porcentual del 7.6 %, lo que indica que durante este período no se incrementa de manera considerable la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por uso de gas natural por tonelada de producto obtenido. Esta intensidad ocupa el segundo lugar en importancia durante este período.

Mientras que la intensidad de emisiones para el Gas Natural se incrementa

ligeramente, la intensidad en emisiones eléctrica se incrementa rápidamente ya que se incrementa en un 85.25%. La rapidez con que se incrementan estas emisiones a pesar de que el consumo de eléctrico no presenta un incremento tan rápido, se debe a la mezcla de combustibles que se utilizan en la generación eléctrica (ver apéndice G).

Para la intensidad en emisiones del Diesel, se tiene que permanece prácticamente constante durante este período a un nivel de aproximadamente 0.01 ton de CO<sub>2</sub>/ton de combustible.

El segundo período se caracteriza por presentar un comportamiento creciente uniforme para las intensidades de emisión de prácticamente todos los combustibles (a excepción de la electricidad), conservando cada una de ellas la misma importancia que en el período anterior.

La intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> para el combustóleo se incrementa de 0.46 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto en 1975 al 0.5 ton de CO<sub>2</sub>/ ton de producto en 1975, es decir que presenta un incremento porcentual de 9.7% durante este segundo periodo, como consecuencia del rápido incremento en las emisiones y no así de la producción .

Con respecto a la intensidad en emisiones para el Gas Natural está también crece ligeramente ya que su crecimiento porcentual registrado fue de 9.45 %, emitiéndose en 1985 0.30 ton de CO<sub>2</sub> por cada ton de producto obtenida.

La intensidad en emisiones eléctrica presenta un comportamiento ligeramente irregular, ya que inicia con un ligero descenso entre 1975 y 1977 para en los siguientes años incrementarse hasta llegar a un valor máximo dentro de este período correspondiente a 0.26 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto en 1980. Entre 1980 y 1981 la intensidad desciende nuevamente para volver a incrementarse entre 1981 y 1983, y durante los últimos tres años de este período permanece prácticamente constante emitiéndose en 1985 0.25 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto.

Finalmente las intensidades en emisiones para el Diesel varían en un 8.4 % durante todo el período llegando a un valor de 0.25 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto en 1985.

Como es de esperarse el tercer período es bastante irregular para todas las intensidades, ya que como se vio en el capítulo 4 y en las secciones anteriores del presente capítulo, tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> por combustible como la producción total de celulosa y papel presentaron un comportamiento irregular.

Iniciando con la intensidad en emisiones para el combustóleo, observamos que entre 1985 y 1988, el nivel de la intensidad se mantiene aproximadamente constante al nivel de 1985, pero entre 1988 y 1990 al elevarse el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a este combustible, sin que la producción se incremente de manera importante, la intensidad en emisiones se incrementa de manera notable ya que es en 1990 cuando se alcanza el máximo valor de esta intensidad durante los 36 años analizados, alcanzando un valor de 0.64 ton de CO<sub>2</sub> /ton de producto, lo que corresponde a un incremento porcentual del 28% con respecto a 1988. Después de este abrupto incremento entre 1990 y 1992 la intensidad disminuye rápidamente en un 38%, esta

disminución es consecuencia de una disminución presentada tanto en las emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de combustóleo (debido a la disminución en el consumo de combustóleo), como en la producción. Continuando con la intensidad para el combustóleo entre 1992 y 1994 nuevamente se registra un incremento del 9.1%, ya que en estos años la producción total se ve disminuida mientras que las emisiones permanecen aproximadamente constantes, y finalmente para esta intensidad entre 1994 y 1995 se presenta una notable disminución de un 43.7% con respecto a 1994, emitiéndose en 1995 0.20 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto. Es importante hacer notar que esta intensidad pasa de ser la más importante durante los primeros años de este periodo al tercer lugar en importancia en 1995.

El comportamiento para la intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> para el Gas Natural presenta también un comportamiento irregular durante este tercer periodo, ya que entre 1985 y 1988 esta intensidad se mantiene constante a niveles de 1985, entre 1988 y 1989 al incrementarse las emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de este combustible con mayor rapidez que la producción, se tiene como resultado un incremento en la intensidad de emisiones del 6.5% con respecto a 1988. Para el siguiente año (1989-1990) la intensidad en emisiones disminuye en un 25% llegando a un valor de 0.24 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto esto es consecuencia de una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> sin verse afectada la producción, por lo que se percibe una mejora en eficiencia, con respecto al uso de gas natural.

En el siguiente año de este periodo (1990-1991) se observa un incremento importante en la intensidad ya que alcanza un valor máximo para los 35 años estudiados de 0.41 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto en 1991, valor que corresponde a un incremento porcentual del 71.5% y es consecuencia de un notable incremento en las emisiones a pesar de haberse presentado un ligero decremento en la producción, ya que es en esta etapa cuando el consumo de gas natural alcanza su máximo nivel.

Entre 1991 y 1992 esta intensidad vuelve a disminuir ligeramente para volver a incrementarse durante los siguientes dos años y finalmente entre 1994 y 1995 disminuir hasta llegar a un valor de 0.32 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto.

El comportamiento para la intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> eléctrica presenta también cambios importantes, ya que esta muestra un comportamiento ascendente muy notable, pasando del tercer lugar en importancia en los primeros años de este periodo a el primer lugar al final del mismo.

Entre 1985 y 1990, esta intensidad presenta una tendencia creciente debido al incremento que se presenta en las emisiones por consumo eléctrico, y no así en la producción, registrando un valor de 0.41 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto. Entre 1990 y 1991 la intensidad disminuye para volver a incrementarse rápidamente entre 1991 y 1994 alcanzando en este último año el valor máximo registrado para esta intensidad en los cuatro periodos que comprenden este análisis, siendo este valor de 0.6 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto. Finalmente para esta intensidad entre 1994 y 1995 se presenta una disminución notable como consecuencia de una disminución correspondiente en las emisiones de CO<sub>2</sub> y un incremento en la producción total. En 1995 se emitieron 0.393 ton de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de producto obtenida y corresponde a este último año un decremento porcentual del 25%. La intensidad en emisiones por uso de electricidad,

presenta este comportamiento debido al incremento del uso de combustóleo y carbón para la generación eléctrica.

La intensidad en emisiones para el Diesel se mantiene prácticamente constante entre 1985 y 1989, posteriormente, entre 1989 y 1992 se incrementa de manera notable emitiéndose en este último año 0.09 ton de CO<sub>2</sub>/ton de producto, este incremento es consecuencia del incremento presentado en las emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de Diesel, ya que la producción no presenta grandes incrementos en este periodo. Entre 1992 y 1995 esta intensidad permanece prácticamente constante a niveles e 1992.

Por último en este período, la intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> para el Gas L.P. se mantiene prácticamente constante y con valores muy pequeños a partir de que se empieza a hacer uso de este combustible (1989).

En el último período de este análisis comprendido entre 1995 y el 2001, se observa que las diferentes intensidades presentan un comportamiento irregular aunque existe una cierta tendencia decreciente.

Ya que la intensidad en emisiones por consumo eléctrico se convierte en la mas importante, se iniciará este análisis con dicha intensidad.

En la gráfica 5.5 podemos ver que la intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> eléctrica presenta un comportamiento irregular, ya que presenta incrementos y decrementos durante todo el periodo, pero con cierta tendencia decreciente llegando al 2001 con un valor de 0.33 ton de CO<sub>2</sub>/ ton de producto y es esta intensidad la que tiene mayor importancia durante este período. El comportamiento de esta intensidad es consecuencia del incremento del consumo eléctrico por la industria (ver gráfica 4.3) y del aumento en el uso de combustóleo y carbón ( que son las fuentes de energía con un índice de emisión estequiométrico mas elevado) para la generación eléctrica (ver apéndice G), ya que elevan el índice de emisión eléctrica para estos años, por lo que las emisiones por uso de consumo eléctrico se incrementan.

El comportamiento en la intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> para el gas natural es decreciente durante todo el período llegando al año 2001 con un valor de 0.17ton de CO<sub>2</sub>/ ton de producto, valor que es inclusive 1.5 veces mas pequeño que el valor registrado en 1965 ocupando en el 2001 el tercer lugar en importancia. Esta disminución es consecuencia del ya mencionado incremento en la producción, mientras las emisiones debidas al uso de gas natural dejan de presentar grandes incrementos.

La intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> para el combustóleo presenta incrementos y decrementos de un año a otro pero se observa de la gráfica 5.5 que existe una tendencia a disminuir, registrándose en el 2001 una intensidad en emisiones de 0.0.5 ton de CO<sub>2</sub>/ ton de producto. La tendencia inestable de esta intensidad se debe a un comportamiento similar de las emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de combustóleo, y la tendencia decreciente es consecuencia de un notable crecimiento de la producción sin tener un crecimiento considerable en las emisiones.

La intensidad en emisiones de CO<sub>2</sub> para el diesel disminuye durante estos años llegando a emitir 0.015 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de producto obtenida en el 2001. Finalmente la intensidad en emisiones para el Gas licuado continúa sin presentar grandes variaciones con respecto al periodo anterior.

Es importante hacer ver como estas intensidades son modificadas a través del tiempo debidas a los cambios en uso de combustible, así como también las medidas de ahorro energético que se han llevado a cabo a partir de la mitad del tercer periodo, ya que en los últimos años las intensidades tienden a disminuir, lo que significa que por cada tonelada de producto obtenida se emite una menor cantidad de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera.



## **CAPITULO VI**

### **ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL**

#### **ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA**

En este capítulo se presentará el análisis de los resultados obtenidos para la variación en el consumo de energía, una vez que se aplicaron las dos diferentes metodologías señaladas en capítulos anteriores, para los datos correspondientes a la industria de la celulosa y el papel para el período comprendido entre 1965 y 2001.

#### **6.1 METODOLOGÍA I- ÍNDICES DE LASPEYRES**

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología para obtener los índices de Laspeyres mediante los datos correspondientes para la industria de la celulosa y el papel para los años comprendidos entre 1965 y el 2001.

En el apéndice H se presentan los datos necesarios para el cálculo de la actividad, estructura y eficiencia así como también los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología.

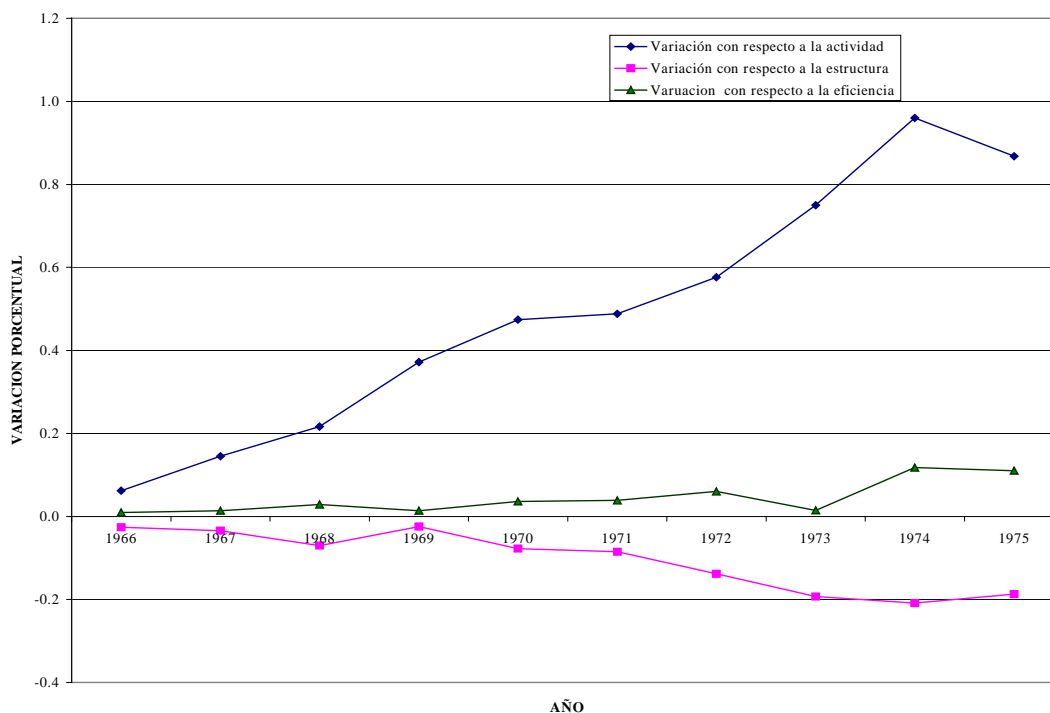
Ya que en este trabajo los diferentes análisis del comportamiento histórico de la industria de la celulosa y el papel se realizaron en cuatro diferentes periodos, es conveniente obtener los índices de Laspeyres para cada uno de estos periodos, como a continuación se presenta:

##### **6.1.1 Primer período:**

Este periodo comprende los años que van de 1965 a 1975, de acuerdo con esta metodología para obtener los índices de Laspeyres correspondientes se toma un año base con respecto al cual se realizan los cálculos descritos en la sección 2.1, y en este caso se consideró a 1965 como año base.

En la siguiente gráfica podemos observar de que manera contribuyen cada uno de los factores considerados en este análisis (actividad, estructura y eficiencia) influyen en la variación del consumo de energía, y como es claro, durante todo el periodo la actividad resulta ser el factor que determina las variaciones en el consumo de energía, ya que su influencia es mucho mayor que la eficiencia la cual ocuparía el segundo lugar en importancia y finalmente vemos que la estructura presenta poca influencia en esta variación.

GRAFICA 6.1 VARIACION DEL CONSUMO DE ENERGIA PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1965 Y 1975 (TOMANDO 1965 COMO AÑO BASE)



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

De acuerdo con las relaciones 2.2, 2.3 y 2.4 de esta metodología los valores obtenidos para la variación en el consumo de energía con respecto a cada uno de los factores considerados son los siguientes :

Tabla 6.1 % $\Delta E$  con respecto a cada factor considerado

Factor físico	% $\Delta E$
Variación con respecto a la actividad	4.9
Variación con respecto a la estructura	-1.04
Variación con respecto a la eficiencia	0.44

por lo tanto de la ecuación 2.5 tenemos que :

$$\% \Delta E_{65-75} = 4.9 - 1.04 + 0.44 = 4.3$$

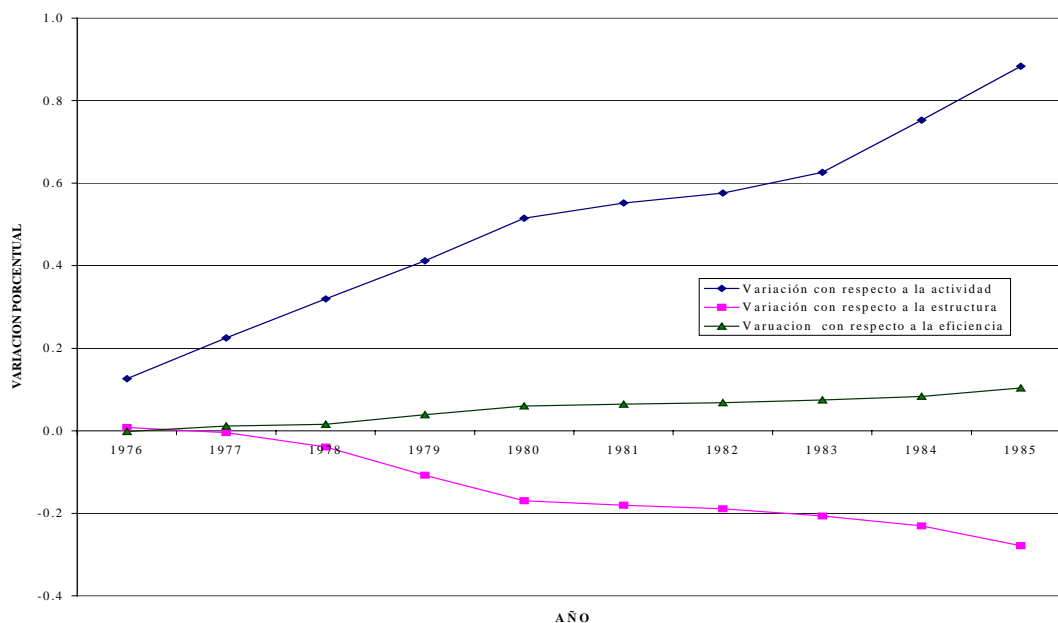
Como se observó gráficamente, estos resultados nos indican que la variación en el consumo de energía quedó determinado prácticamente por los cambios en la actividad, es decir que al producir mayor cantidad de papel y/o celulosa, se consumía mayor cantidad de energía, por lo que es notorio que en este periodo no se consideró la importancia del uso eficiente de los recursos energéticos. Estos resultados están de acuerdo con el comportamiento del consumo de energía y producción total de celulosa y papel correspondientes a este período, ya que como se observa en las gráficas 4.1

y 4.4 la producción se incrementa propiciando un incremento en el consumo de energía.

### 6.1.2 Segundo periodo:

En este período se consideran los años comprendidos entre 1975 y 1985. Una vez aplicada la metodología en este período (considerando como año base a 1975) se obtuvo la gráfica 6.2 que a continuación se presenta, en la cual podemos ver que el comportamiento de los tres factores físicos considerados es muy similar al periodo anterior, ya que la variación en el consumo de energía con respecto a la actividad es muy superior a la variación en la eficiencia y a la variación en la estructura.

GRAFICA 6.2 VARIACION DEL CONSUMO DE ENERGIA PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1975 Y 1985 (TOMANDO 1975 COMO AÑO BASE)



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

Los valores obtenidos en este período para la variación de la energía con respecto a cada uno de los factores físicos son los siguientes:

Tabla 6.2 %ΔE con respecto a cada factor considerado

Factor físico	%ΔE
Variación con respecto a la actividad	5
Variación con respecto a la estructura	-1.4
Variación con respecto a la eficiencia	0.52

por tanto

$$\% \Delta E_{75-85} = 5 - 1.4 + 0.52 = 4.1$$

Como se puede ver, el valor de la variación en el consumo de energía con respecto a cada uno de los factores y la variación final son muy similares a los valores obtenidos en el periodo anterior, por lo que se tiene que la industria de la celulosa y el papel continua operando de la misma forma que en la década anterior por lo que al presentarse un incremento en la producción se presenta como consecuencia un incremento en el consumo de energía. Por lo que la actividad es determinante en dicha variación. La influencia de la eficiencia es mínima durante este periodo, mientras que la estructura tiende a disminuir ligeramente el consumo de energía.

### 6.1.3 Tercer periodo:

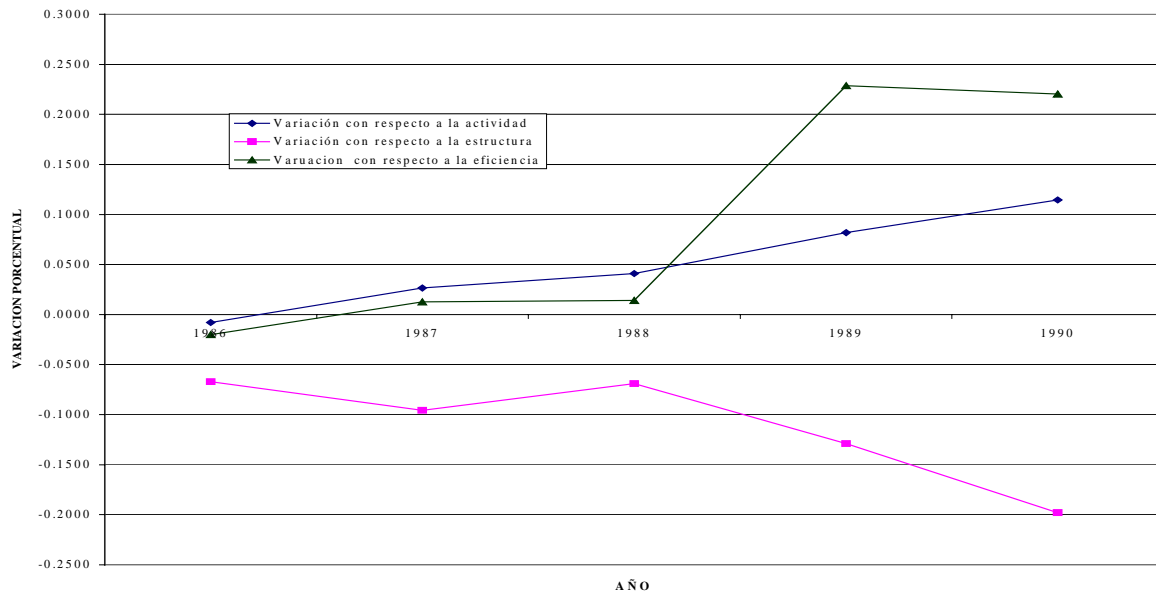
Se mencionó en capítulos anteriores que este periodo se caracteriza por comportarse de una manera muy irregular en cuanto al consumo de energía, ya que en estos años se combinan diversos factores como son cambios en el uso de combustibles, implementación de medidas de ahorro de energía, así como también la crisis económica de 1994[23,24]. Tomando estas consideraciones se decidió dividir este período en dos secciones, quedando la primera de ella comprendida entre 1985 y 1990 y la segunda entre 1990 y 1995. Esta división se hizo de esta manera debido a que entre 1985 y 1990, la tendencia en el consumo de energía es a incrementarse rápidamente alcanzando su valor máximo en 1990 con 55.4 PJ (ver tabla 4.1), a partir de este año el consumo de energía presenta una tendencia ascendente considerable (ver gráfica 4.2). De acuerdo con lo anterior, la metodología para obtener los índices de Laspeyres se aplicará de manera independiente para cada uno de estos periodos, a los cuales llamaremos periodo 3-a y período 3-b respectivamente.

#### 6.1.3.1 Período 3-a:

Para el análisis de este período se tomó como año base a 1985 y una vez aplicada la metodología a los datos correspondientes se obtuvo la gráfica 6.3-a que a continuación se presenta, en la cual se observa que el comportamiento de la variación en el consumo de energía con respecto a cada uno de los factores, ya no es tan simple como en los periodos anteriores, ya que entre 1985 y 1988 la actividad junto con la eficiencia, son los factores que determinan la variación en el consumo de energía, ya que la influencia de la actividad es apenas ligeramente superior a la influencia de la eficiencia, mientras que la estructura tiende a disminuir ligeramente la variación en el consumo de energía.

Entre 1988 y 1990 es la eficiencia el factor físico que determina el comportamiento de la variación en el consumo de energía, dejando en segundo lugar en importancia a la actividad.

GRAFICA 6.3 a VARIACION DEL CONSUMO DE ENERGIA PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1985 Y 1990 (TOMANDO 1985 COMO AÑO BASE)



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

Los valores numéricos obtenidos para la variación en el consumo de energía con respecto a cada uno de los factores son los siguientes:

Tabla 6.3-a %ΔE con respecto a cada factor considerado

Factor físico	%ΔE
Variación con respecto a la actividad	0.3
Variación con respecto a la estructura	-0.6
Variación con respecto a la eficiencia	0.5

Por lo que la variación en el consumo de energía será:

$$\% \Delta E_{85-90} = 0.3 - 0.6 + 0.5 = \mathbf{0.2}$$

Como podemos ver de este resultado la variación en el consumo de energía durante este período es muy pequeña, en comparación con los periodos anteriores, lo que implica que continúa aunque de manera menos rápida, el aumento en el consumo de energía, pero no es solo la actividad la causante de este incremento ya que la eficiencia que en este caso sería una mala eficiencia, también contribuye al incremento

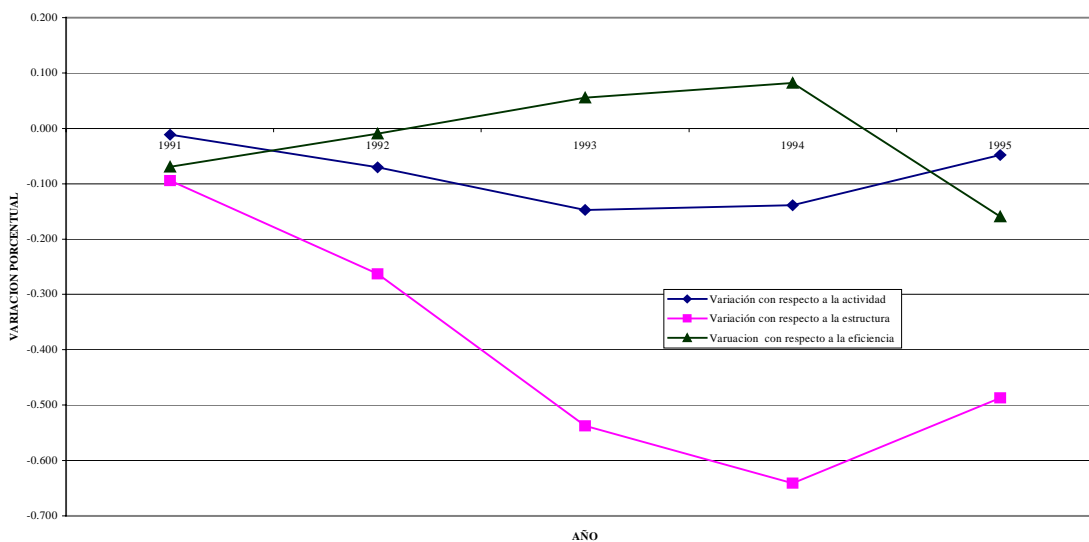
en el consumo de energía, mientras que la estructura contribuye ligeramente a disminuir el consumo de energía.

Comparando estos resultados con la gráfica 4.1 vemos que es precisamente en 1990 cuando se llega al límite superior en el consumo energético de esta industria, por lo que es en este momento donde podemos considerar que la eficiencia es tan mala dentro de la industria que provoca un consumo excesivo de energía sin lograr un incremento importante dentro de su producción.

### 6.1.3.2 Período 3-b.

Este periodo queda comprendido entre 1990 y 1995 y la metodología se aplica tomando como año base a 1990. En la gráfica 6.3-b que se obtuvo con los resultados correspondientes se observa que la actividad tiende a incrementar ligeramente la variación en el consumo de energía durante casi todo el periodo, a excepción del último año (1994-1995) donde la variación en el consumo de energía con respecto a este factor tiende a disminuir. Con respecto a la variación en el consumo de energía debidas a los factores eficiencia y estructura podemos apreciar que estos contribuyen a la disminución de dicha variación.

GRAFICA 6.3 b VARIACION DEL CONSUMO DE ENERGIA PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1990 Y 1995 (TOMANDO 1990 COMO AÑO BASE )



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

Los valores numérico correspondientes a la variación porcentual del consumo de energía para cada uno de los factores tomados en consideración son los siguientes:

Tabla 6.3-b % $\Delta E$  con respecto a cada factor considerado

<b>Factor físico</b>	<b>%<math>\Delta E</math></b>
Variación con respecto a la actividad	-0.42
Variación con respecto a la estructura	-2.02
Variación con respecto a la eficiencia	-0.1

Y de acuerdo con estos valores se tiene que la variación en el consumo de energía para este período es:

$$\% \Delta E_{90-95} = -0.42 - 2.02 - 0.1 = -2.54$$

Como se observa la variación en el consumo de energía para este período es negativa, lo que indica que el consumo de energía disminuye durante este período y este cambio lo podemos atribuir a la combinación de los tres factores considerados. Si se observa la gráfica 4.3 y 4.4 vemos que efectivamente durante este periodo se presenta una disminución en la eficiencia (a excepción de los últimos años de este periodo) y también una disminución en la producción, por lo que ambos factores inducen una disminución en el consumo de energía.

#### 6.1.4 Cuarto periodo

En el último periodo comprendido entre 1995 y el 2001 se toma como año base para aplicar la metodología a 1995. La gráfica 6.4 realizada con los resultados obtenidos se observa como la actividad nuevamente es el factor físico que tiene mayor influencia en el incremento de la variación del consumo de energía durante todo el período (a excepción del inicio de este), mientras que la estructura y la eficiencia tienden a disminuir la variación en el consumo energético.

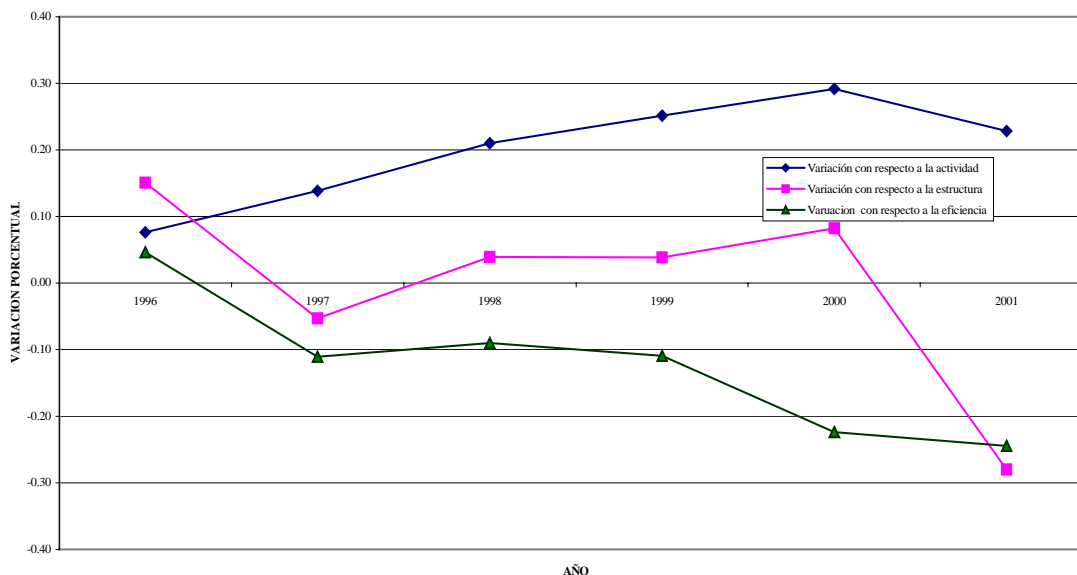
Los valores obtenidos para la variación en el consumo de energía con respecto a los diferentes factores se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6.4 % $\Delta E$  con respecto a cada factor considerado

<b>Factor físico</b>	<b>%<math>\Delta E</math></b>
Variación con respecto a la actividad	1.2
Variación con respecto a la estructura	-0.02
Variación con respecto a la eficiencia	-0.49

$$\% \Delta E = 1.2 - 0.02 - 0.49 = 0.7$$

GRAFICA 6.4 VARIACION DEL CONSUMO DE ENERGIA PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1995 Y EL 2001  
(TOMANDO A 1995 COMO AÑO BASE)



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

Se observa que la variación porcentual en el consumo de energía durante el período es positiva, pero considerablemente pequeña, lo que indica que durante este último periodo no se dieron grandes incrementos en el consumo de energía, lo que está de acuerdo con el análisis presentado en el capítulo 4, ya que el consumo de energía no se incrementa como en los años iniciales de este estudio.

La variación en el consumo de energía presentada en este periodo se debe básicamente al incremento de la producción, pero ahora operando con una industria que ha implementado medidas de ahorro de energía para lograr un funcionamiento eficiente de la misma.



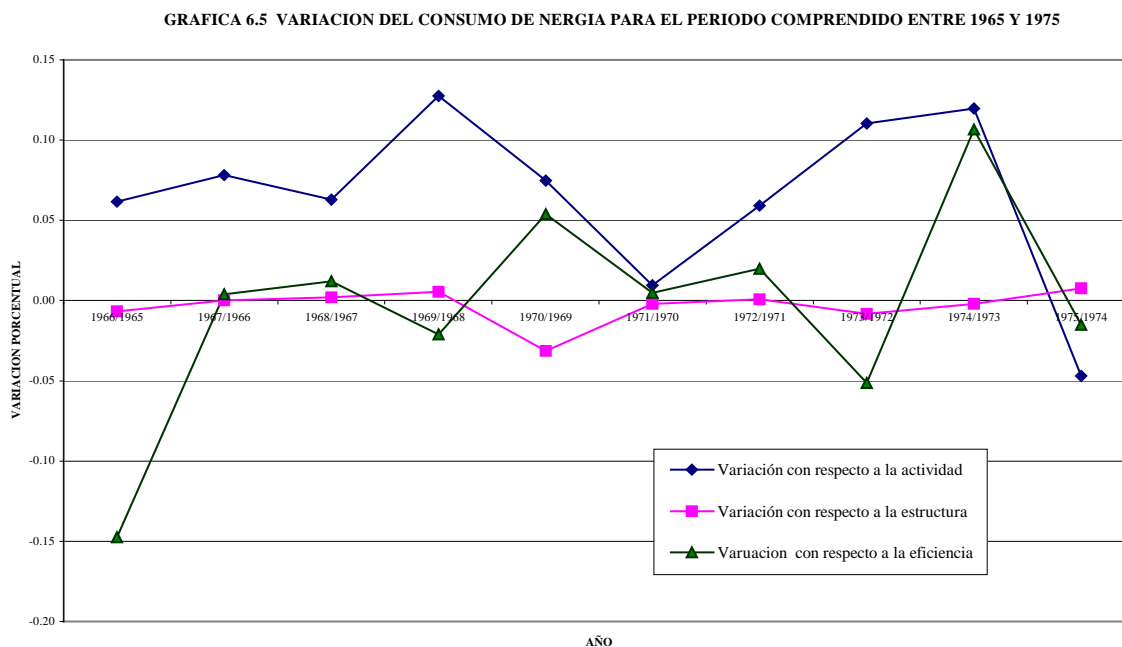
## 6.2 METODOLOGÍA II - METODOLOGÍA UTILIZADA POR FARLA et al

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología utilizada por Farla et al para determinar que factores físicos han influido de manera mas importante en la variación del consumo de energía, esto mediante la aplicación de dicha metodología a los datos correspondientes para la industria de la celulosa y el papel para los años comprendidos entre 1965 y el 2001.

En el apéndice H se presentan los datos necesarios para el calculo de la actividad, estructura y eficiencia así como también los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología.

### 6.2.1 Primer período:

La Grafica 6.5 que se muestra a continuación muestra la influencia de cada uno de los factores físicos considerados (actividad, estructura y eficiencia), en la variación en el consumo de energía, y como se puede apreciar, es el factor actividad el que de manera mas importante contribuye en el incremento de la variación en el consumo energético durante este primer periodo, seguido en importancia por la eficiencia y estructura, las cuales tienen poca influencia en esta variación.



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

De acuerdo con la relaciones 2.11 y 2.12 para esta metodología, establecida en el capítulo II, se tiene que la influencia en la variación del consumo de energía para cada uno de los factores es la siguiente:

Tabla 6.5 % $\Delta E$  con respecto a cada factor considerado

<b>Factor físico</b>	<b>%<math>\Delta E</math></b>
Variación con respecto a la actividad	0.66
Variación con respecto a la estructura	-0.04
Variación con respecto a la eficiencia	-0.03

Y por lo tanto la variación del consumo de energía para todo este primer periodo es:

$$\% \Delta E_{65-75} = 0.66 - 0.04 - 0.03 = \mathbf{0.59}$$

Como se observa la variación del consumo de energía en este periodo es positiva lo que implica un crecimiento en dicho consumo que es marcado básicamente por el crecimiento en la producción.

Para el primer período ambas metodologías presentadas indican que es la actividad el factor que de manera más importante determinó la variación en el consumo energético durante estos años, propiciando el incremento del consumo energético al transcurrir el tiempo.

De igual manera ambos resultados muestran que la estructura y eficiencia no son determinantes en la variación del consumo energético.

### 6.2.2 Segundo periodo:

La gráfica 6.6 mostrada a continuación, obtenida mediante la aplicación de esta metodología a los datos correspondiente, deja ver el comportamiento de la actividad, estructura y eficiencia sobre la variación del consumo de energía durante esta segunda década, en la cual se tiene que es la actividad nuevamente la actividad determina la variación del consumo de energía, mientras que la estructura y eficiencia, prácticamente no afectan esta variación.

Los valores de la variación del consumo de energía para cada uno de estos factores físicos obtenidos para este período se muestran en la siguiente tabla:

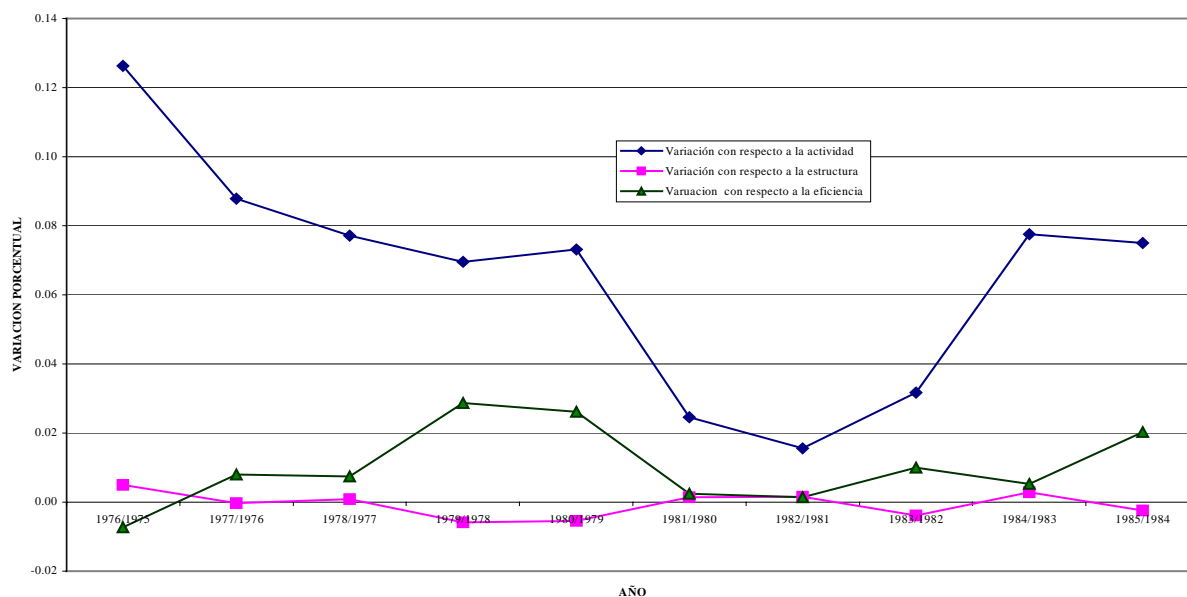
Tabla 6.6 % $\Delta E$  con respecto a cada factor considerado

<b>Factor físico</b>	<b>%<math>\Delta E</math></b>
Variación con respecto a la actividad	0.66
Variación con respecto a la estructura	0
Variación con respecto a la eficiencia	0.1

Por lo tanto la variación del consumo de energía de todo el periodo es:

$$\% \Delta E_{75-85} = 0.66 + 0 + 0.1 = \mathbf{0.76}$$

GRAFICA 6.6 VARIACION DEL CONSUMO DE ENERGIA PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1975 Y 1985



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

Al igual que en el periodo anterior, la variación del consumo de energía es positivo, lo que indica un incremento en el consumo de energía que es un resultado esperado de acuerdo con el análisis presentado en el capítulo IV. La actividad es el factor más influyente en esta variación podemos decir que el incremento en la producción de la industria de la celulosa y el papel es el factor que propicia la variación del consumo energético en este período.

Los resultados obtenidos con las dos metodologías aplicadas, coinciden en que es efectivamente el incremento en la producción (la actividad), es el factor físico que propicia el cambio en el consumo de energía en este período, siendo este cambio positivo, es decir que el consumo de energía se incrementa al incrementarse la producción.

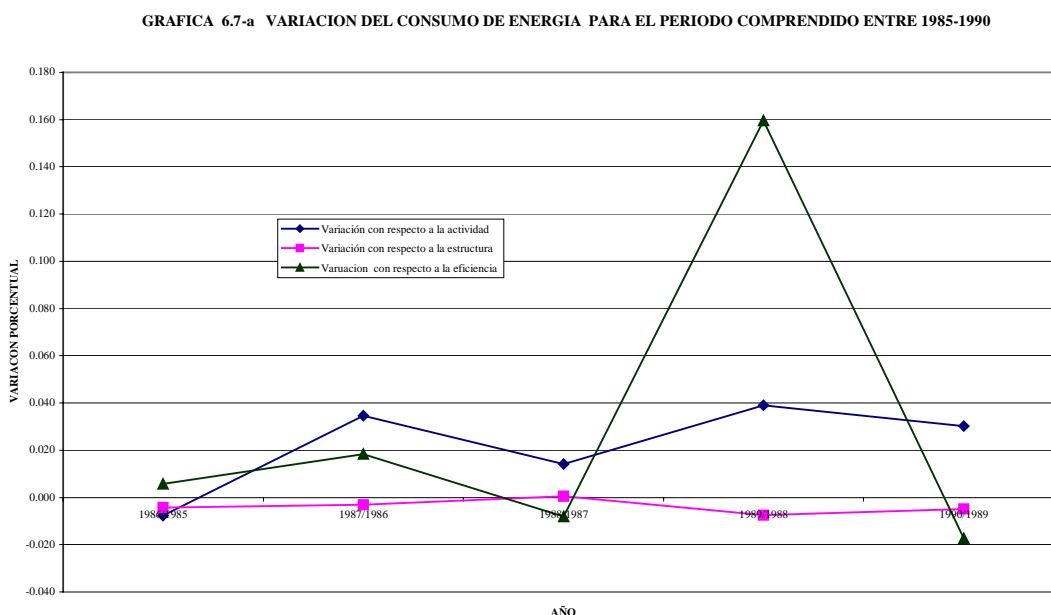
Al igual que para el primer período ambas metodologías muestran que la estructura y la actividad no influyen de manera poco significativa en la variación en el consumo energético de este período.

### 6.2.3 Tercer periodo:

Como se explicó en la sección 6.1.3, debido al comportamiento irregular presentado durante este período por el consumo de energía como resultado de la influencia de diferentes factores, el análisis de este se realizará en dos etapas, que son las siguientes: Período 3-a comprendido entre 1985-1990 y período 3-b comprendido entre 1990- 1995.

#### 6.2.3.1 Período 3-a:

La siguiente gráfica muestra de que manera influyeron la actividad, estructura y eficiencia durante este periodo para determinar la variación del consumo de energía y como se observa en los primeros años de este período, la actividad y la eficiencia determinan el cambio en dicha variación, pero a partir de 1988 y prácticamente hasta 1990 es la eficiencia el factor que influye de manera mas importante en la variación del consumo de energía.



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

Los valores numéricos arrojados por la metodología utilizada, que determinan la variación del consumo de energía con respecto a cada uno de los factores físicos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.7-a % $\Delta E$  con respecto a cada factor considerado

<b>Factor físico</b>	<b>%<math>\Delta E</math></b>
Variación con respecto a la actividad	0.11
Variación con respecto a la estructura	-0.02
Variación con respecto a la eficiencia	0.16

De acuerdo con estos valores se tiene que la variación del consumo de energía de todo el periodo es:

$$\% \Delta E_{85-90} = 0.11 - 0.02 + 0.16 = \mathbf{0.25}$$

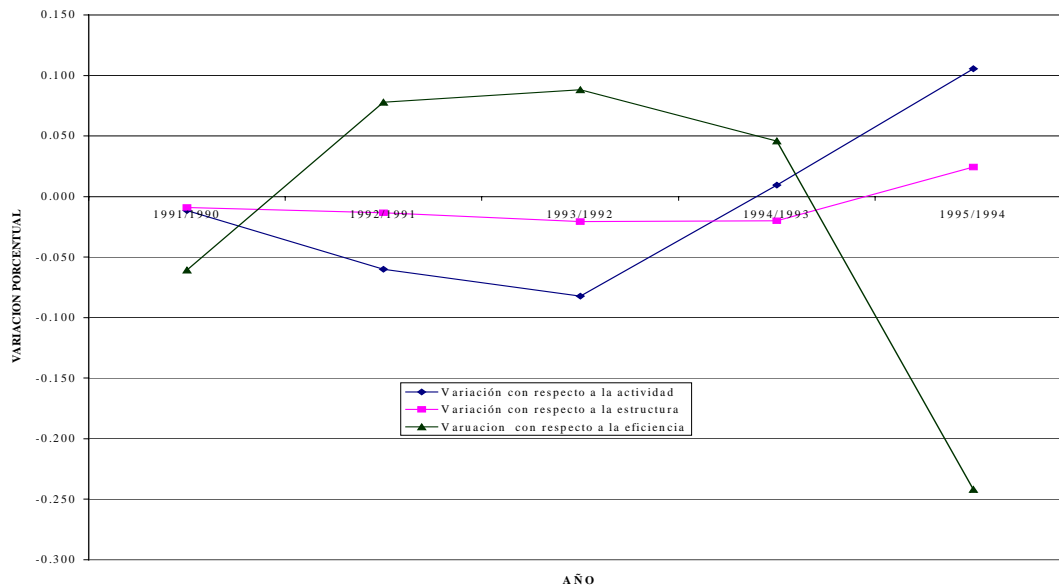
Este resultado muestra que durante el período la variación sigue siendo positiva, lo que indica que el consumo de energía continua en aumento, aunque en menor cantidad que en los periodos anteriores y al ser la eficiencia el factor que induce esta variación podemos decir (y como ya se menciona en el análisis de la metodología 1) que en este momento, la industria de la celulosa y el papel opera bajo condiciones ineficientes, provocando un consumo innecesario de energía. La influencia de la actividad durante este periodo también es considerable, por lo que bajo estas condiciones se llega al máximo en el consumo de energía ya mencionado.

Las dos metodologías presentadas determinan que durante este período, la eficiencia (mala eficiencia) es el factor físico que determina la variación en el consumo de energía, seguida en importancia por la actividad, y finalmente la estructura, contribuyendo este último factor a una ligera disminución en el consumo energético, ya que la producción de celulosas presenta una tendencia a disminuir durante este período (ver gráfica 3.2).

### 6.2.3.2 Periodo 3-b

En la gráfica 6.7-b correspondiente a los resultados obtenidos durante este período podemos observar que el comportamiento de la eficiencia determina la variación del consumo de energía hasta 1994, año en el cual la actividad incrementa notablemente su importancia, mientras la eficiencia provoca una considerable variación negativa del consumo.

GRAFICA 6.7- b VARIACION DEL CONSUMO DE ENERGIA PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1990 Y 1995



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

Analizando las variaciones del consumo de energía debidas a cada uno de los factores físicos en cuestión para todo este período tenemos lo siguiente:

Tabla 6.7-b %ΔE con respecto a cada factor considerado

Factor físico	%ΔE
Variación con respecto a la actividad	-0.04
Variación con respecto a la estructura	-0.04
Variación con respecto a la eficiencia	-0.09

Por lo que la variación del consumo de energía de todo el periodo es:

$$\% \Delta E_{90-95} = -0.04 - 0.04 - 0.09 = -0.17$$

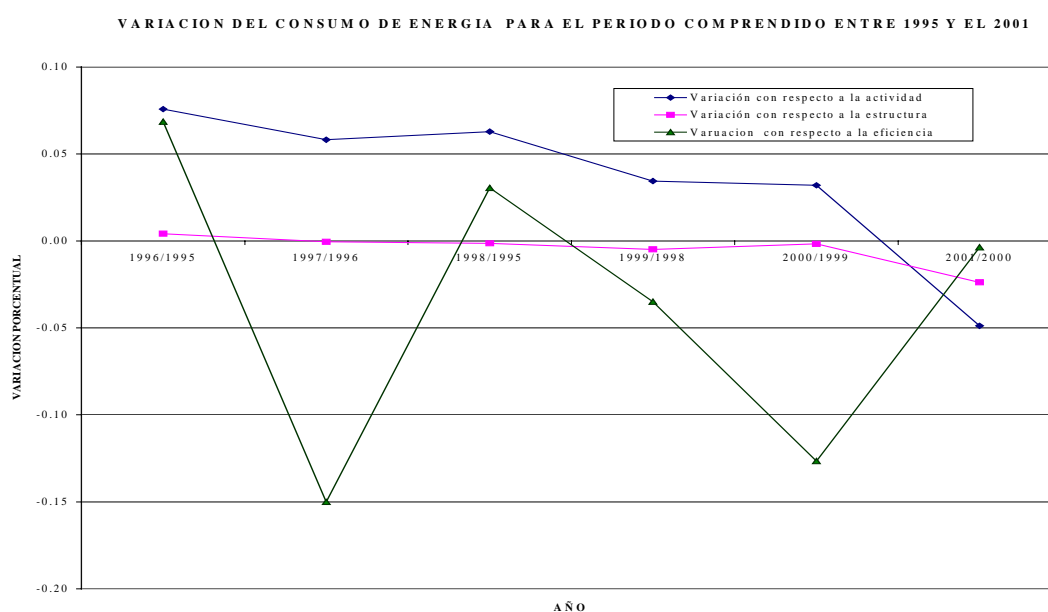
De este resultado tenemos que la variación total del consumo de energía durante este periodo es negativa, lo cual implica que el consumo de energía disminuyó como consecuencia de la eficiencia y también de la actividad. Por lo que en este periodo la eficiencia tiende a mejorar y la producción presenta una ligera tendencia a disminuir (ver gráfica 4.3 y 4.4)

Comparando las dos metodologías, observamos que ambas arrojan una variación negativa en el consumo de energía, por lo que se tiene que durante este período el

consumo de energía efectivamente disminuye, como resultado de la combinación de los tres factores considerados, ya que los dos resultados muestran que la variación en el consumo de energía con respecto a cada uno de ellos es negativa.

#### 6.2.4 Cuarto período:

Observando la gráfica 6.8 correspondiente a los resultados obtenidos para este último período, tenemos que la actividad es el factor que influye de manera mas importante en la variación del consumo de energía, mientras que la eficiencia se comporta de manera irregular durante todos estos años. También podemos ver que la estructura no es un factor determinante en esta variación.



Fuente propia con base en los resultados obtenidos.

Las variaciones del consumo de energía debidas a cada uno de los factores físicos en cuestión para este período son los siguientes:

Tabla 6.8 % $\Delta E$  con respecto a cada factor considerado

Factor físico	% $\Delta E$
Variación con respecto a la actividad	0.26
Variación con respecto a la estructura	0
Variación con respecto a la eficiencia	-0.21

Por lo que la variación del consumo de energía del periodo es:

$$\% \Delta E_{95-01} = 0.26 + 0 - 0.21 = \mathbf{0.05}$$

Este resultado indica que la variación en el consumo de energía durante estos últimos años comprendidos en este análisis solo sufre un pequeño incremento que se debe al incremento de la producción, pero a pesar de esta tendencia en la producción no se presenta un incremento importante dentro del consumo, por lo que se debe suponer que se está operando de manera eficiente dentro de la industria de la celulosa y el papel.

Al igual que en los periodos anteriores los resultados obtenidos con las dos metodologías aplicadas coinciden en el cuarto período, ya que indican que en estos años es la actividad el factor que influye de manera más importante en la variación en el consumo de energía, siendo esta variación positiva pero pequeña en ambos casos. La estructura y eficiencia no presentan una influencia relevante en ambos resultados.

Una vez presentados los resultados obtenidos con las dos metodologías aplicadas, para cada uno de los periodos considerados, se observa que estos, coinciden en la determinación de el factor o factores físicos que de manera más importante han determinado la variación en el consumo de energía para las diferentes etapas de desarrollo de esta industria, pudiendo considerar a la actividad como el factor que históricamente ha sido el más importante en esta industria.

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos con ambas metodologías, para la variación en el consumo de energía



Tabla 6.9 Resumen de resultados para la variación en el consumo de energía

<b>Factor Físico</b>	<b>Laspeyres</b>	<b>Farla</b>
<b>Primer periodo (1965-1975)</b>	<b>%<math>\Delta</math>E</b>	<b>%<math>\Delta</math>E</b>
Variación con respecto a la actividad	4.9	0.66
Variación con respecto a la estructura	-1.04	-0.04
Variación con respecto a la eficiencia	0.44	-0.03
<b>%<math>\Delta</math>E total</b>	<b>4.3</b>	<b>0.59</b>

<b>Segundo periodo (1975-1985)</b>		
Variación con respecto a la actividad	5	0.66
Variación con respecto a la estructura	-1.4	0
Variación con respecto a la eficiencia	0.52	0.1
<b>%<math>\Delta</math>E total</b>	<b>4.1</b>	<b>0.76</b>

<b>Tercer periodo</b>		
<b>3-a (1985-1990)</b>		
Variación con respecto a la actividad	0.3	0.11
Variación con respecto a la estructura	-0.6	-0.02
Variación con respecto a la eficiencia	0.5	0.16
<b>%<math>\Delta</math>E total</b>	<b>0.2</b>	<b>0.25</b>
<b>3-b (1990-1995)</b>		
Variación con respecto a la actividad	-0.42	-0.04
Variación con respecto a la estructura	-2.02	-0.04
Variación con respecto a la eficiencia	-0.1	-0.09
<b>%<math>\Delta</math>E total</b>	<b>-2.54</b>	<b>-0.17</b>

<b>Cuarto periodo (1995-2001)</b>		
Variación con respecto a la actividad	1.2	0.26
Variación con respecto a la estructura	-0.02	0
Variación con respecto a la eficiencia	-0.49	-0.21
<b>%<math>\Delta</math>E total</b>	<b>0.7</b>	<b>0.05</b>

## CAPITULO VII

### ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL

En la presente sección se presentarán y analizarán los resultados obtenidos para la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria de la celulosa y el papel de acuerdo con las dos metodologías propuestas en el capítulo 2 de este trabajo.

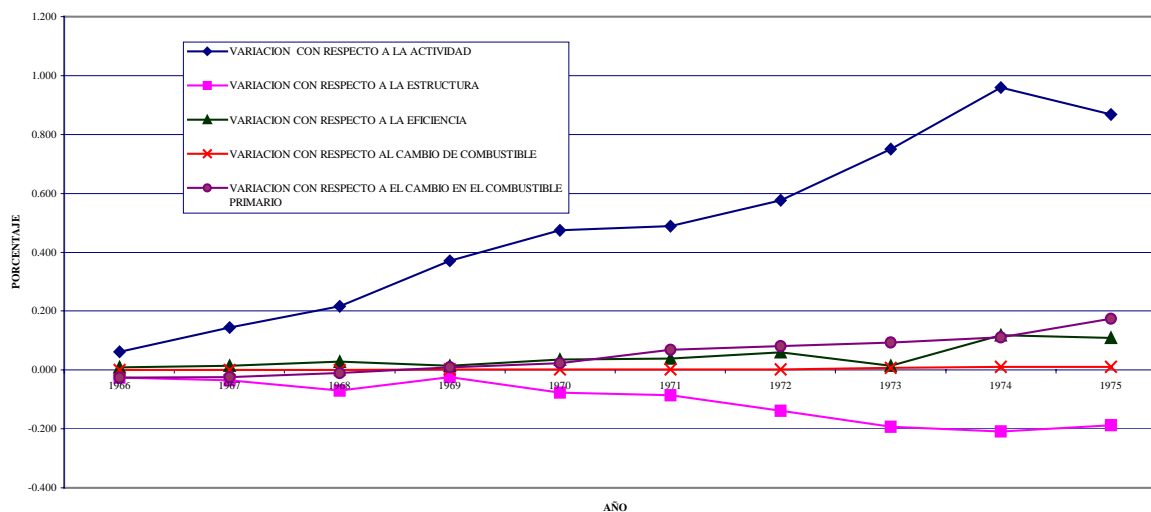
#### 7.1 ÍNDICES DE LASPEYRES

Siguiendo la metodología expuesta para la obtención de los índices de Laspeyres para la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para un determinado periodo de tiempo se analizan cada uno de los cuatro periodos ya establecidos anteriormente, determinando para cada uno de ellos, el o los factores que determinaron la variación de dichas emisiones. En el apéndice I Se presentan los datos utilizados así como también los resultados obtenidos al aplicar dicha metodología.

##### 7.1.1 Primer periodo

La gráfica 7.1 que se presenta a continuación, muestra de que manera hubieran variado las emisiones de CO<sub>2</sub> durante este primer período (1965-1975), si solamente uno de los factores que intervienen en dicha variación hubiera cambiado en cada caso, tomando como año base para este período a 1965.

GRAFICA 7.1 VARIACION DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1965 Y 1975 (TOMANDO 1965 COMO AÑO BASE)



Fuente propia con base en los resultados obtenidos

Como se puede observar en la gráfica 7.1, es el factor actividad el que determina el cambio en la variación de emisiones durante este período, ya que al presentarse un incremento en la producción (ver sección 3.5) se tiene un consecuente incremento en el uso de combustible (que en este caso la mayor parte es de combustóleo) y por tanto un incremento en emisiones de CO<sub>2</sub>.

La eficiencia y el cambio en combustible primario tienden a incrementar ligeramente la variación de las emisiones (este ligero incremento por a la mezcla primaria de combustible es consecuencia del incremento en el uso de combustóleo para la generación eléctrica), mientras que la estructura las disminuye también de manera ligera. El cambio en la mezcla final de combustibles no presenta cambios importantes durante este periodo, ya que como se analizó en el capítulo 4, el porcentaje de uso de cada uno de estas fuentes de energía permanece prácticamente constante durante estos años.

La variación debida a cada uno de los factores considerados, de acuerdo con las relaciones 2.7 y 2.8 establecidas en el capítulo II para el cambio en la mezcla final de combustibles y mezcla de combustibles primarios es la siguiente:

**Tabla 7.1 %ΔC con respecto a cada factor considerado**

<b>Factor físico</b>	<b>%ΔC</b>
Variación con respecto a la actividad	4.91
Variación con respecto a la estructura	-1.05
Variación con respecto a la eficiencia	0.44
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.04
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	0.18

Por lo tanto de acuerdo con la relación 2.9 se tiene que :

$$\% \Delta C_{65-75} = 4.91 - 1.05 + 0.44 + 0.04 + 0.18 = \mathbf{4.52}$$

La variación total de emisiones de CO<sub>2</sub> durante este período es positiva lo que indica que las emisiones presentan un incremento durante todo el periodo, resultado que esta de acuerdo con el análisis presentado en el capítulo V sección 5.1 de este trabajo, y que de acuerdo con los resultados de aplicar esta metodología queda determinada básicamente por la actividad de dicha industria.

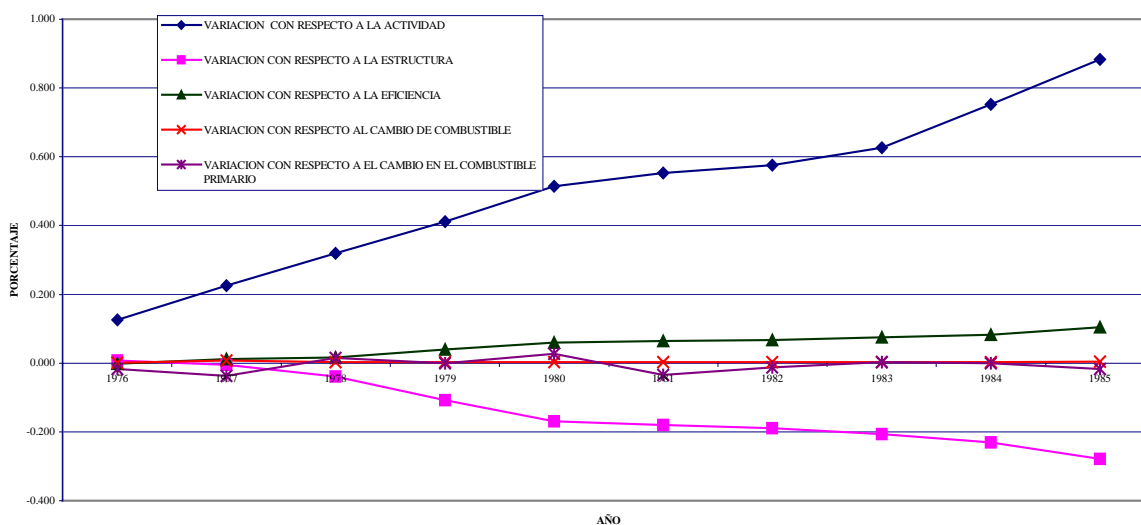
### **7.1.2 Segundo Período**

En el segundo periodo considerado entre 1975 y 1985 se toma como año base a 1975. La grafica 7.2 muestra el comportamiento de cada uno de los factores que influyen o determinan la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en este periodo. Como se puede

observar el factor que influye de manera más importante en esta variación, es nuevamente la actividad, presentando un comportamiento muy similar al periodo anterior.

La variación con respecto a la eficiencia, cambio en la mezcla final de combustible y cambio en la energía primaria, no afectan de manera importante la variación en emisiones de CO<sub>2</sub> durante este periodo, mientras que la estructura tiende a disminuir dichas emisiones.

GRAFICA 7.2 VARIACION DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1975 Y 1985 (TOMANDO 1975 COMO AÑO BASE)



Fuente propia con base en los resultados obtenidos

Los valores para la variación de emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto a cada uno de los factores físicos considerados se muestran en la siguiente tabla :

Tabla 7.2 %ΔC con respecto a cada factor considerado

Factor físico	%ΔC
Variación con respecto a la actividad	4.99
Variación con respecto a la estructura	-1.40
Variación con respecto a la eficiencia	0.52
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.03
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	-0.07

Y por lo tanto la variación total de emisiones de CO<sub>2</sub> para este período es:

$$\% \Delta C_{75-85} = 4.99 - 1.40 + 0.52 + 0.03 - 0.07 = 4.07$$

Este valor en la variación en emisiones es mayor que en el periodo anterior, por lo que las emisiones continúan con una tendencia ascendente durante todo estos años, como consecuencia del incremento presentado en la producción de celulosas y papel.

Este resultado es congruente con el análisis correspondiente que se presenta en el capítulo V de este trabajo.

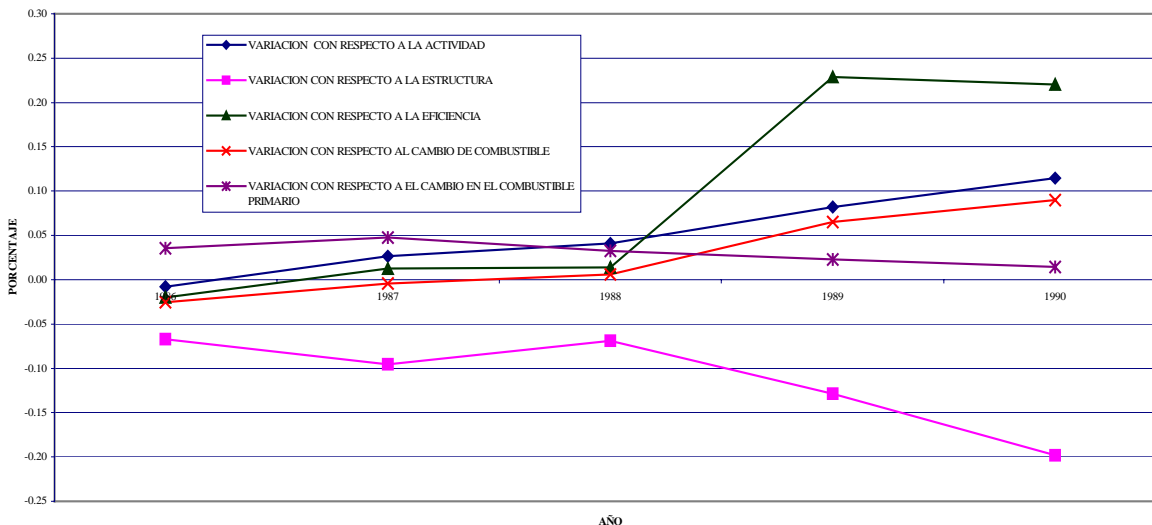
### 7.1.3 Tercer período

Al igual que en la sección 6.1.3, debido al comportamiento irregular en el consumo de energía, el análisis del tercer periodo se subdividirá en dos periodos, considerando el primero de ellos entre 1986 y 1990 y el segundo entre 1990 y 1995.

#### 7.1.3.1 Período 3-a

Para este primer subperiodo, se tomó como año base a 1985, para aplicar la metodología correspondiente. En la gráfica 7.3-a vemos que existe ya un cambio notable con respecto a los dos periodos anteriores, ya que como podemos ver para los años entre 1986 y 1988, la variación en el cambio en combustible primaria es el factor que adquiere mayor importancia en la variación de emisiones, seguido por el factor actividad, aunque es claro que en estos años, ninguno de los factores involucrados establece una mayor importancia con respecto a los demás, no así en los siguientes años (1988-1990), donde se puede observar que la eficiencia es el factor que influye de manera más importante en la variación de emisiones, seguido en importancia por la actividad y el cambio en combustible

GRÁFICA 7.3-a VARIACION DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1985 Y 1990 (TOMANDO 1985 COMO AÑO BASE)



Fuente propia con base en los resultados obtenidos

La variación de las emisiones con respecto a cada uno de los factores físicos considerados correspondientes a este periodo se muestran a continuación:

Tabla 7.3-a %ΔC con respecto a cada factor considerado

Factor físico	%ΔC
Variación con respecto a la actividad	0.26
Variación con respecto a la estructura	-0.56
Variación con respecto a la eficiencia	0.46
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.13
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	0.15

De estos valores se tiene que la variación total de emisiones correspondiente es:

$$\% \Delta C_{85-90} = 0.26 - 0.56 + 0.46 + 0.13 + 0.15 = \mathbf{0.44}$$

Nuevamente en este período la variación total en emisiones vuelve a ser positiva, lo que indica que hasta este momento las emisiones de CO<sub>2</sub> continúan con una tendencia a incrementarse como es claro en la gráfica 5.1 de emisiones totales de CO<sub>2</sub>. Este incremento se da como principal consecuencia de la variación con respecto a la eficiencia, como se aprecia en la tabla anterior, lo que implica que en los procesos de

producción de celulosa y papel, cada vez se utiliza mayor cantidad de energía por unidad de producto final (ver sección 4.3).

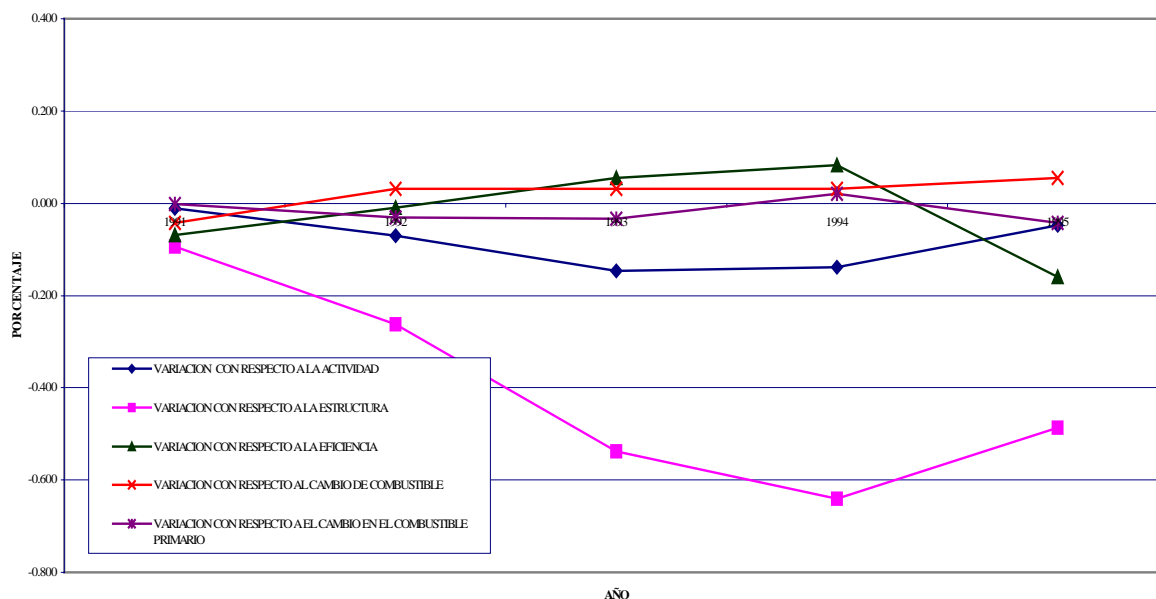
Los factores actividad y cambio en el combustible primario y cambio en la mezcla final de combustible son factores que también influyen en el incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> durante estos años, ya que el consumo de combustible alcanza su valor máximo en 1990, y el consumo eléctrico se empieza a incrementar de manera más rápida que en años anteriores.

### 7.1.3.2 Período 3-b

Este período como ya se mencionó queda comprendido entre 1990 y 1995, de acuerdo con la gráfica 7.3-b se observa que los factores actividad, eficiencia, cambio en la mezcla final de combustibles y cambio en combustible primario, no presentan una influencia determinante en el comportamiento de la variación en emisiones, ya que ninguno de estos, sobresale de los demás, pero hay que señalar que presentan una ligera tendencia negativa, es decir que aunque de manera no muy importante estos factores están contribuyendo a la disminución en emisiones de CO<sub>2</sub>.

El factor estructura como podemos ver, es el que durante este periodo presenta una influencia más negativa en la variación de emisiones.

GRAFICA 7.3-b VARIACION DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1990 Y 1995 (TOMANDO 1990 COMO AÑO BASE)



Fuente propia con base en los resultados obtenidos

En la siguiente tabla se muestra de que manera cada uno de los factores físicos considerados afectan a la variación total de emisiones de CO<sub>2</sub> durante este período.

**Tabla 7.3-b %ΔC con respecto a cada factor considerado**

<b>Factor físico</b>	<b>%ΔC</b>
Variación con respecto a la actividad	-0.42
Variación con respecto a la estructura	-2.02
Variación con respecto a la eficiencia	-0.10
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.11
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	-0.09

De estos valores se tiene que la variación total de emisiones correspondiente es:

$$\% \Delta C_{90-95} = -0.42 - 2.02 - 0.10 + 0.11 - 0.09 = -2.52$$

De estos resultados tenemos que la variación en emisiones de CO<sub>2</sub> durante este periodo es negativa, y se debe principalmente al factor estructura ya que en estos años se percibe una considerable disminución en la producción de celulosas y no así en la producción de papel, que aunque entre 1991 y 1993 también presentó una disminución, no es tan importante como la presentada por las celulosas (ver gráficas 3.2 y 3.4 de este trabajo).

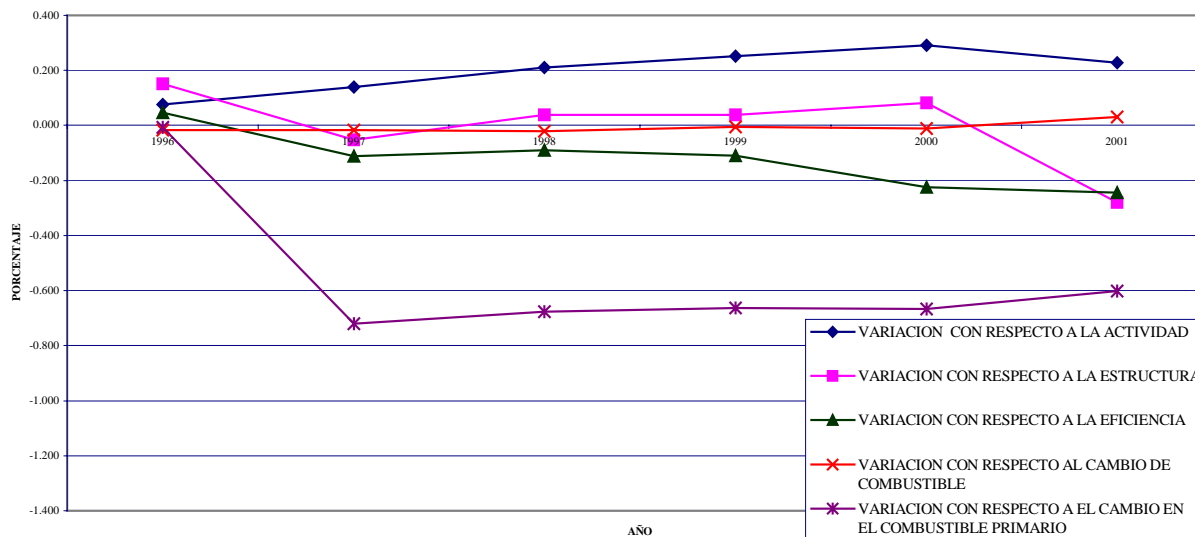
También es importante hacer notar que los demás factores también tienden a disminuir las emisiones durante este periodo, ya que como se vio en la sección 4.2, se percibe un cambio entre el uso de combustóleo por gas natural.

#### **7.1.4 Cuarto Período**

En este último periodo (1995-2001), como se puede observar en la gráfica 7.4, se tiene que es nuevamente la actividad el factor que presenta una tendencia a incrementar las emisiones de CO<sub>2</sub>, aunque no de una manera importante, mientras que los factores con respecto a la estructura, eficiencia y cambio en combustible son aproximadamente constantes durante este periodo, es decir no incrementan ni disminuyen de manera importante las emisiones de CO<sub>2</sub>. Con respecto a la variación en emisiones debidas a la variación en el cambio de combustible primario, se observa que contribuye a la disminución en emisiones durante este período.



GRAFICA 7.4 VARIACION DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1995 Y 2001 (TOMANDO 1995 COMO AÑO BASE)



Fuente propia con base en los resultados obtenidos

La siguiente tabla muestra de que manera intervino cada uno de los factores considerados sobre la variación en emisiones durante este período.

Tabla 7.4 % $\Delta C$  con respecto a cada factor considerado

Factor físico	% $\Delta C$
Variación con respecto a la actividad	1.20
Variación con respecto a la estructura	-0.02
Variación con respecto a la eficiencia	-0.73
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.04
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	-3.34

Por lo tanto

$$\% \Delta C_{95-01} = 1.2 - 0.02 - 0.73 - 0.04 - 3.34 = -2.94$$

La variación en emisiones para este último período vuelve a ser negativa, lo que indica que

las emisiones continúan disminuyendo y uno de los factores que más contribuyen a esta disminución es el cambio en combustible primario, seguido por la eficiencia. El cambio en la mezcla final de combustible y la estructura prácticamente no contribuye ni

al incremento ni a la disminución de emisiones, mientras que la actividad incrementa ligeramente las emisiones de CO<sub>2</sub>.

De acuerdo con los resultados obtenidos vemos que en este último periodo la combinación de los cambios llevados a cabo por la industria como son, el cambio en mezcla final de combustibles (ver sección 4.2), mejoras en la eficiencia energética [ 23, 24], y también el cambio en la mezcla de combustible primario (ver apéndice G), han contribuido de manera importante a la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria de la celulosa y el papel, y posiblemente de toda la actividad industrial de México.

Del análisis presentado de acuerdo a la metodología de índices de Laspeyres, vemos que la variación en las emisiones de CO<sub>2</sub> durante las dos primeras décadas contempladas en este estudio, se debe al factor actividad, es decir a mayor producción mayor emisión de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera. La concientización que se da durante la tercera década para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> trae como resultado el realizar el cambio en el uso de combustibles, ya que como se ha mencionado el combustible de mayor uso durante las dos primeras décadas fue el combustóleo, cuyo índice emisiones de CO<sub>2</sub> es mayor que el de los demás combustibles utilizados por la industria, y como se observo en este análisis el uso de combustibles limpios ha dado resultados satisfactorios.

Un aspecto importante que se observa en los resultados obtenidos mediante esta metodología, es la influencia que tienen las emisiones de CO<sub>2</sub> sobre la variación final de estas, teniendo en cuenta que las variaciones debidas al consumo eléctrico podríamos considerarlas como emisiones indirectas, ya que estas no son propiamente generadas por la industria, vemos que estas influyen considerablemente sobre todo en el último periodo, que es donde determina la tendencia negativa en la variación de emisiones, debido a que en este periodo el consumo eléctrico permanece aproximadamente constante, además de que en la mezcla de combustible primario se incrementa el consumo de gas natural.

## **7.2 ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> MEDIANTE LA METODOLOGÍA USADA POR FARLA (METODOLOGÍA II)**

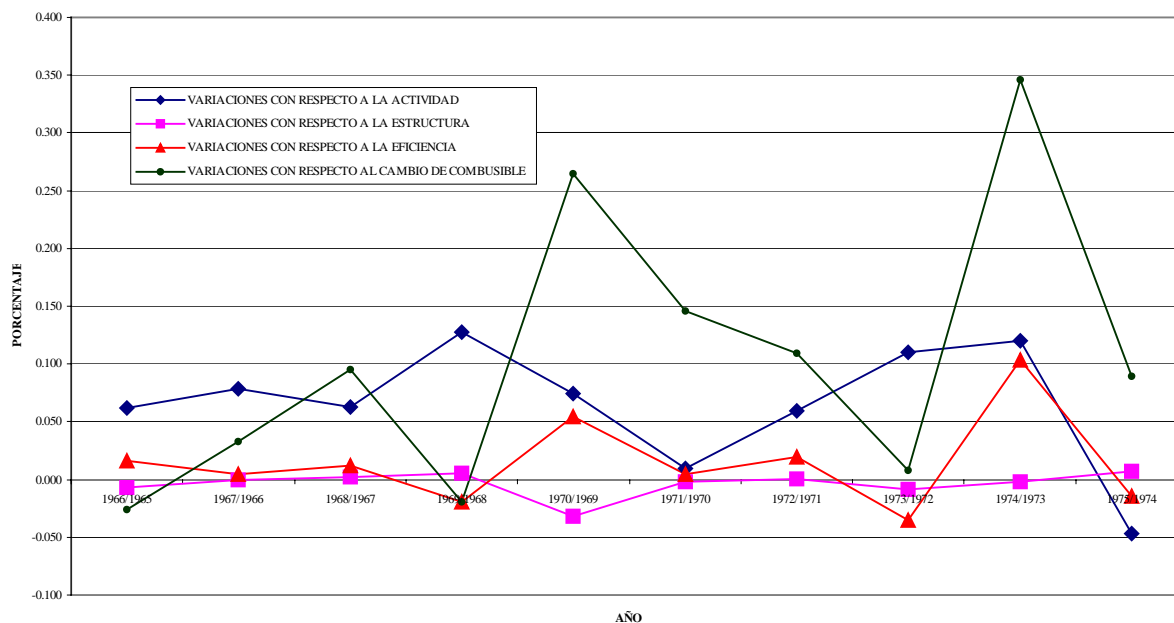
Al aplicar la metodología II para el análisis de la variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y como se menciona en el capítulo 2 de este trabajo, se tiene que en un solo término quedan contenidas las variaciones con respecto a la mezcla final de combustibles y los cambios debidos al cambio en la mezcla en combustibles primarios. De acuerdo con lo anterior, los resultados al aplicar esta metodología se presentan en el apéndice I.

Al igual que en los capítulos anteriores el análisis de los resultados obtenidos se presentan de acuerdo a los periodos ya establecidos.

## 7.2.1 Primer período

De acuerdo con la gráfica que a continuación se presenta, durante 1965-1969 la actividad es el factor debido al cual se produce la variación en las emisiones de CO<sub>2</sub>, seguido en importancia por el cambio de combustible, a partir de este último año, la variación con respecto al cambio de combustible es la que adquiere mayor relevancia durante los años restantes de este período, y seguido en importancia por la actividad.

GRAFICA 7.5 VARIACION DE LAS EMISIONES DE CO2 PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1965 -1975



Fuente propia con base en los resultados obtenidos

En el apéndice G se observa que efectivamente entre 1968 y 1969 se presenta un cambio en la mezcla de combustibles de energía primaria, cambios que como se ve reflejado en este análisis influyen en el comportamiento de la variación en emisiones.

La variación en emisiones debidas a la eficiencia y estructura no presentan una influencia importante durante este periodo.

De acuerdo con la relación 2.17 los valores numéricos obtenidos para cada uno de los factores que intervienen en la variación de las emisiones para este periodo se presentan a continuación:

Tabla 7.5 %ΔC con respecto a cada factor considerado

Factor físico	%ΔC
Variación con respecto a la actividad	0.66
Variación con respecto a la estructura	-0.04
Variación con respecto a la eficiencia	0.15
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles	1.05

Por lo tanto siguiendo la ecuación 2.18 tenemos que :

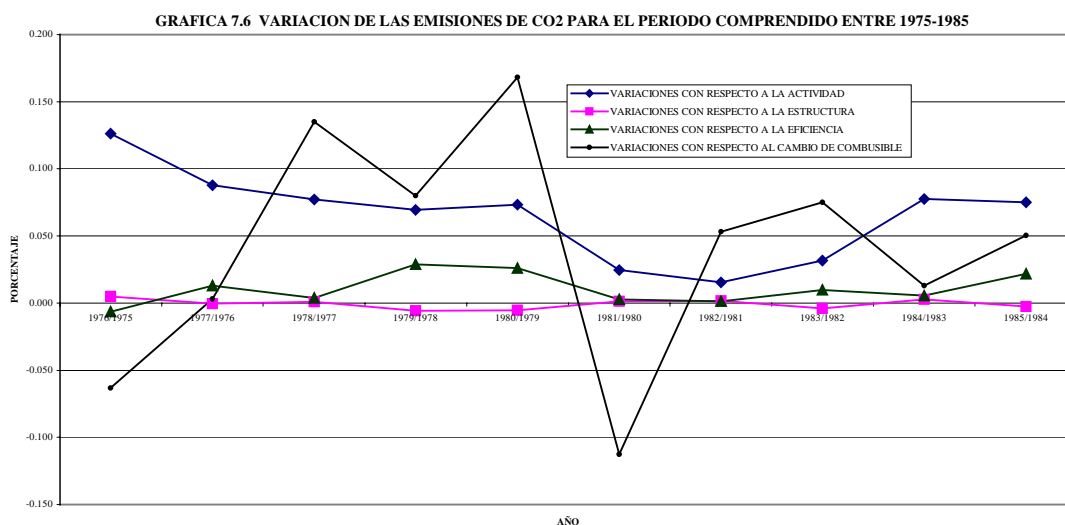
$$\% \Delta C_{65-75} = 0.66 - 0.14 + 0.15 + 1.05 = 1.82$$

De acuerdo con estos valores podemos ver que efectivamente la variación con respecto al cambio de combustible es el factor que representa un mayor influencia en la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y le sigue en importancia la actividad, que podemos considerar que influye también de manera importante durante este período. La estructura y eficiencia no son factores determinantes de la variación en emisiones durante este primer período.

Comparando estos resultados con los obtenidos mediante la aplicación de la metodología propuesta por Laspeyre, vemos que ambas dan como resultado una variación en emisiones positiva, y considerando que en esta última metodología en un solo término se integra tanto el cambio en combustible primario como el cambio en la mezcla final de combustibles, razón por la cual la importancia de este término se incrementa, es factible considerar que es la actividad el factor que determina el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en este período y en segundo término el cambio en combustible primaria.

### 7.2.2 Segundo periodo

En la gráfica 7.6 se observa claramente que la actividad es el factor que influye de manera más importante durante todo el período en la variación en las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que la variación en emisiones con respecto al cambio de combustible, a pesar de que en algunos años es importante, en otros no presenta una contribución al incremento de las emisiones. Mientras que la actividad y estructura no representan gran influencia para la variación en el cambio de emisiones durante este período.



Fuente propia con base en los resultados obtenidos

Los resultados numéricos arrojados al aplicar esta metodología para los valores de la variación en emisiones con respecto a cada uno de los factores considerados son los siguientes:

**Tabla 7.6 % $\Delta$ C con respecto a cada factor considerado**

<b>Factor físico</b>	<b>%<math>\Delta</math>C</b>
Variación con respecto a la actividad	0.66
Variación con respecto a la estructura	0
Variación con respecto a la eficiencia	0.11
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles	-0.63

Y por lo tanto la variación total de las emisiones para este periodo es la siguiente:

$$\% \Delta C_{75-85} = 0.66 + 0.11 - 0.63 = 0.14$$

De estos resultados vemos que la variación en emisiones dada durante todo este período es efectivamente una consecuencia del factor actividad, ya que como explicamos anteriormente al darse un incremento en la producción se tiene como consecuencia directa un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En los resultados obtenidos para el segundo período, con las dos metodologías empleadas en este trabajo, podemos ver que es la actividad el factor que básicamente determina la variación en emisiones de CO<sub>2</sub>, es decir que el incremento en emisiones de CO<sub>2</sub>, se debe a el incremento en la producción, donde este incremento se traduce en un incremento en emisiones debido a la carencia de una eficiencia energética.

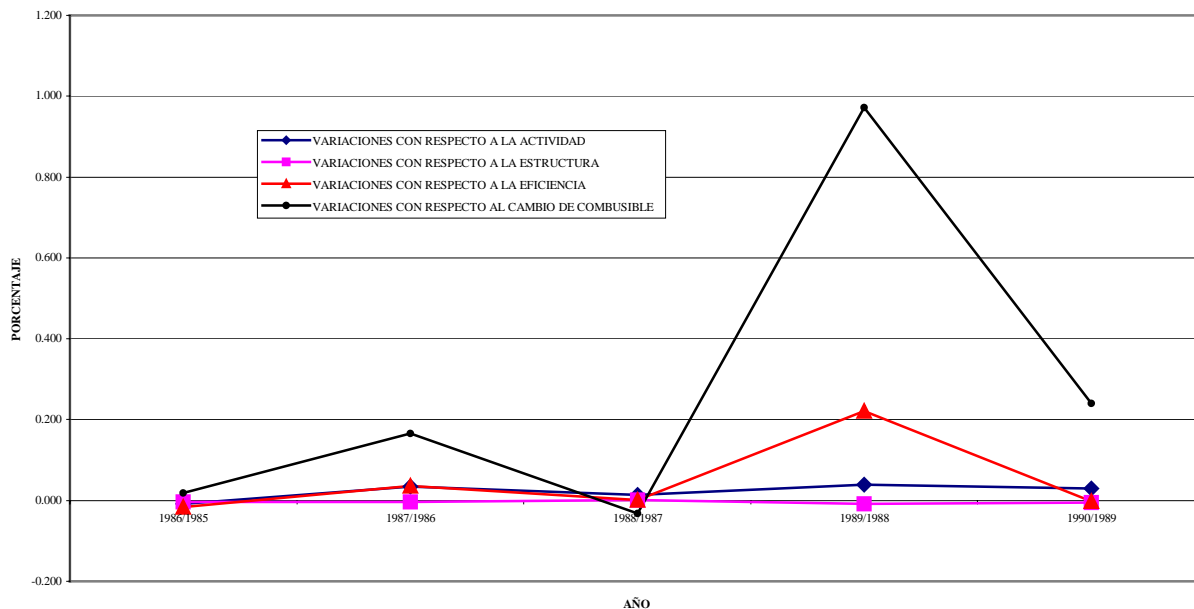
### 7.2.3 Tercer periodo

Al igual que en el análisis de variación en el consumo de energía este período se subdividirá en dos periodos comprendidos cada uno de ellos entre 1985 -1990 y 1990-1995 respectivamente.

#### 7.2.3.1. Período 3-a

En la gráfica 7.7-a correspondientes a los resultados obtenidos para este periodo se observa que durante que la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> se debe principalmente al cambio en el combustible y en los últimos años se nota que la eficiencia influye también en el incremento de la variación de emisiones. Los factores restantes no presentan una influencia importante para la variación en emisiones.

GRAFICA 7.7-a VARIACION DE LAS EMISIONES DE CO2 PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1985 Y 1990



Fuente propia con base en los resultados obtenidos

Los resultados que determinan la influencia de cada uno de los factores considerados para determinar la variación en las emisiones de CO<sub>2</sub> se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7.7-a %ΔC con respecto a cada factor considerado

Factor físico	%ΔC
Variación con respecto a la actividad	0.11
Variación con respecto a la estructura	-0.02
Variación con respecto a la eficiencia	0.24
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles	1.36

Y por lo tanto la variación total de las emisiones para este periodo es la siguiente:

$$\% \Delta C_{85-90} = 0.11 - 0.02 + 0.24 + 1.36 = 1.69$$

Con estos resultados podemos ver que efectivamente es el cambio en la mezcla de combustible el factor físico que de manera mas importante influye sobre la variación de emisiones, seguido por la eficiencia y la actividad. Este cambio en la mezcla de combustibles es atribuible al cambio en la mezcla final de combustibles más que a la mezcla de combustible primario, ya que la proporción en el uso de combustóleo en la

mezcla final de combustibles es mayor en este período, sobre todo en los últimos años de este.

Comparando los resultados obtenidos en esta metodología con los obtenidos con la metodología 1, vemos que la eficiencia y tanto el cambio en combustible primario como el cambio en la mezcla final de combustible, son los factores que determinan el incremento en emisiones para este periodo.

En la metodología 1 la eficiencia aparece como el factor que de manera mas importante influye en la variación de emisiones, mientras que en la segunda metodología es el cambio en combustible el factor de mayor importancia. Esta diferencia entre ambas metodologías la podemos justificar en base a que en la última metodología se incluyen en un solo término tanto el cambio en combustible primario, como el cambio en la mezcla final de combustible, motivo por el cual su valor resultante se ve incrementado.

### 7.2.3.2 Período 3-b

Al igual que en el período anterior y como podemos ver en la gráfica 7.7-b el cambio en la mezcla de combustibles es nuevamente el factor que influye de manera determinante en la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> ya que los demás factores prácticamente no tienen ninguna influencia sobre dicha variación.

Los valores correspondientes a la variación de las emisiones con respecto a cada uno de los factores que se toman en cuenta en esta metodología son los siguientes:

**Tabla 7.7-b %ΔC con respecto a cada factor considerado**

<b>Factor físico</b>	<b>%ΔC</b>
Variación con respecto a la actividad	-0.04
Variación con respecto a la estructura	-0.04
Variación con respecto a la eficiencia	-0.09
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles	4.36

Por lo que la variación total de emisiones correspondiente al período es:

$$\% \Delta C_{90-95} = -.04 - .04 - .09 + 4.36 = 4.19$$

De estos resultados vemos que la importancia del cambio en la mezcla de combustibles es el factor que determina la variación de las emisiones en este período.

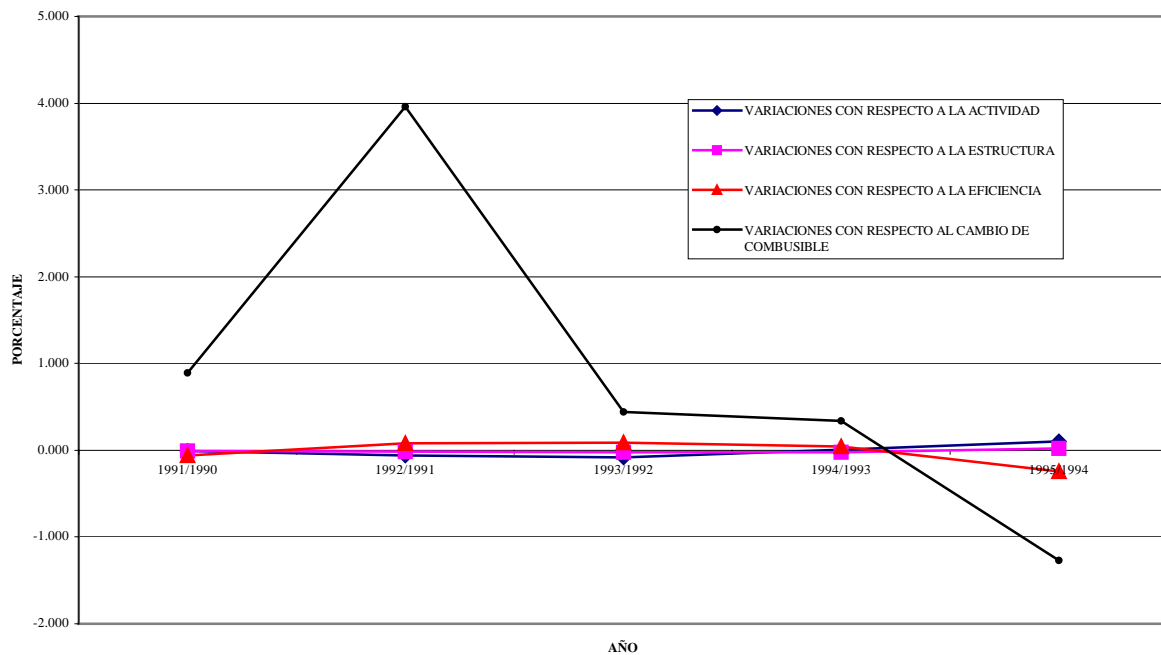
El cambio en la variación de emisiones obtenido para este periodo mediante la metodología utilizada por Farla, nos indica un cambio positivo, es decir un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, resultado que no está de acuerdo con la variación en las emisiones presentada para este periodo (ver gráfica 5.1).

En el apéndice B vemos que entre 1991 y 1992 se presentó un incremento muy notorio en el consumo de diesel (318% aproximadamente). Al aplicar esta última metodología en este periodo, nos da un valor relativamente grande para la variación en emisiones en estos años, y dicho valor incrementa notablemente la variación de emisiones total para dicho periodo, pero en realidad las emisiones tienden a disminuir.

Comparando estos resultados con los resultados obtenidos con la metodología I vemos que efectivamente los resultados para este periodo no coinciden en los factores que involucran cambio de combustible, ya que la metodología I, indica que la tendencia en la variación de emisiones es a disminuir, resultado que si concuerda con el análisis de la sección 5.1.

De acuerdo con lo anterior los resultados obtenidos mediante la metodología II, con respecto al factor cambio de combustible se ven alterados por un incremento muy grande en el consumo de diesel, presentado entre 1991 y 1992.

**GRAFICA 7.7-b VARIACION DE LAS EMISIONES DE CO2 PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1990 Y 1995**



Fuente propia con base en los resultados obtenidos



### 7.2.4 Cuarto periodo

En este último período comprendido entre 1991 y el 2001 la variación en emisiones de CO<sub>2</sub> es consecuencia nuevamente de los cambios presentados en la mezcla de combustible como podemos apreciar en la gráfica, aunque su influencia varía con el transcurso del tiempo.

Los valores que nos indican la variación total del período con respecto a cada uno de los factores tomados en consideración son los siguientes:

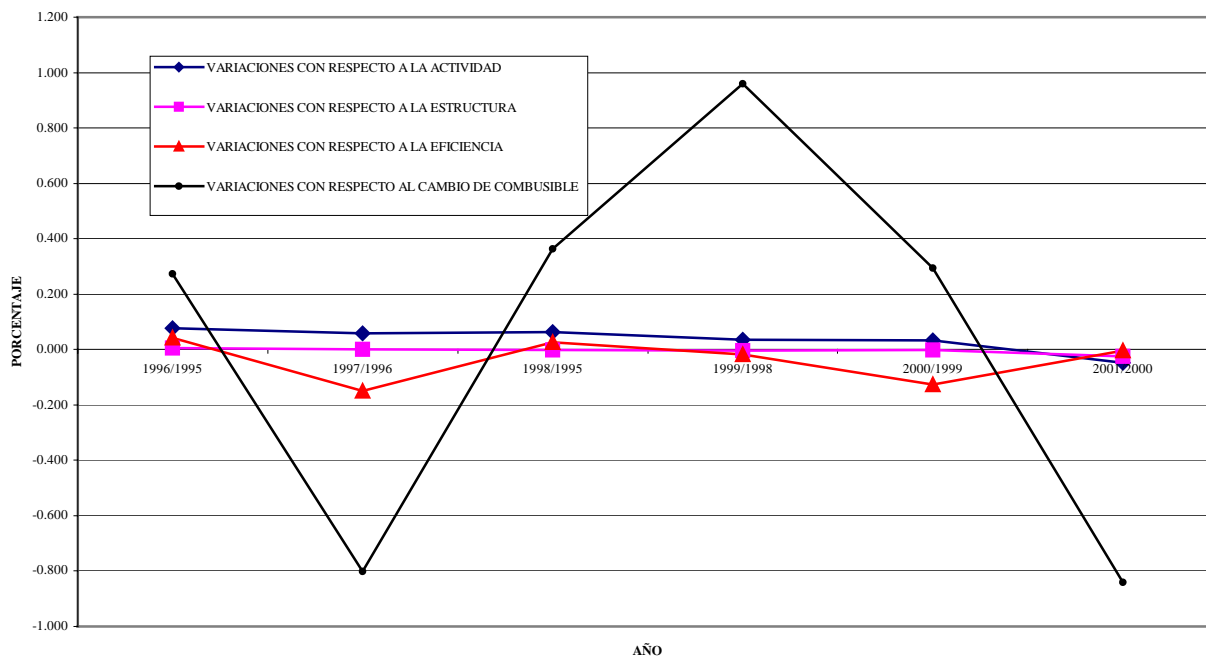
**Tabla 7.8 %ΔC con respecto a cada factor considerado**

Factor físico	%ΔC
Variación con respecto a la actividad	0.22
Variación con respecto a la estructura	-0.03
Variación con respecto a la eficiencia	-0.23
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles	0.25

Por lo que la variación total de emisiones correspondiente al período es:

$$\% \Delta C_{90-95} = 0.22 - 0.03 - 0.23 + 0.25 = 0.21$$

**GRAFICA 7.4 VARIACION DE LAS EMISIONES DE CO2 PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1995 Y EL 2001**



Fuente propia con base en los resultados obtenidos

De estos resultados podemos ver que el cambio en la mezcla de combustibles y la actividad contribuyen a incrementar la variación de emisiones, aunque no de manera muy relevante, mientras que los factores restantes tienden a disminuirla también ligeramente la variación de emisiones.

La variación total en las emisiones para este período es ligeramente positiva, lo que indica que existe una tendencia a el incremento de emisiones.

De acuerdo con los resultados obtenidos con las dos distintas metodologías para este último periodo, podemos ver que la actividad provoca un incremento en las emisiones, mientras que la eficiencia y estructura tienden a disminuir dichas emisiones.

Con respecto a los factores que involucran al cambio en combustible primario, la mezcla final de combustible se encuentra un diferencia en los resultados obtenidos. Esta diferencia presentada entre ambas metodologías la podemos atribuir a que en la segunda metodología en un solo termino se contemplan los cambios tanto de la mezcla final, como de la mezcla de combustibles primarios, razón por la cual existen dichas discrepancias.

Ya que el valor final en la variación en emisiones con la segunda metodología es positivo pero pequeño y la primera metodología nos arroja un resultado negativo, podemos decir que la tendencia en las emisiones durante este periodo es a disminuir, resultado que concuerda con el análisis de la sección 5. 1 de este trabajo.

A continuación se presenta la tabla resumen que presenta los resultados obtenidos mediante las dos metodologías, para la variación en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Tabla 7.9 Resumen de resultados para la variación en emisiones de CO<sub>2</sub>

<b>Factor Físico</b>	<b>Laspeyres</b>	<b>Farla</b>
<b>Primer periodo (1965-1975)</b>	<b>%ΔE</b>	<b>%ΔE</b>
Variación con respecto a la actividad	4.9	0.66
Variación con respecto a la estructura	-1.04	-0.04
Variación con respecto a la eficiencia	0.44	-0.03
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.04	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	0.18	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles		1.05
<b>%ΔC total</b>	<b>4.52</b>	<b>1.82</b>
<b>Segundo periodo (1975-1985)</b>		
Variación con respecto a la actividad	5	0.66
Variación con respecto a la estructura	-1.4	0
Variación con respecto a la eficiencia	0.52	0.1
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.03	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	-0.07	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles		-0.63
<b>%ΔC total</b>	<b>4.07</b>	<b>0.14</b>

Tabla 7.9 continuación

<b>Tercer periodo</b>		
<b>3-a (1985 – 1990)</b>		
Variación con respecto a la actividad	0.3	0.11
Variación con respecto a la estructura	-0.6	-0.02
Variación con respecto a la eficiencia	0.5	0.16
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.13	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	0.15	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles		1.36
<b>%ΔC total</b>	<b>0.44</b>	<b>1.69</b>
<b>3-b (1990-1995)</b>		
Variación con respecto a la actividad	-0.42	-0.04
Variación con respecto a la estructura	-2.02	-0.04
Variación con respecto a la eficiencia	-0.1	-0.09
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.11	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	-0.09	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles		4.36
<b>%ΔC total</b>	<b>-2.52</b>	<b>4.19</b>
<b>Cuarto periodo (1995-2001)</b>		
Variación con respecto a la actividad	1.2	0.26
Variación con respecto a la estructura	-0.02	0
Variación con respecto a la eficiencia	-0.49	-0.21
Variación con respecto al cambio en la mezcla final de combustibles	0.04	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustible primario	-3.34	
Variación con respecto al cambio en la mezcla de combustibles		0.25
<b>%ΔC total</b>	<b>-2.94</b>	<b>0.21</b>

## CONCLUSIONES

Debido a la importancia actual del uso racional de las diferentes fuentes de energía y al impacto sobre el medio ambiente que se presenta debido a la emisión de gases contaminantes que se generan con el consumo de combustibles, es importante conocer las causas que producen los incrementos o bien decrementos tanto en el consumo energético como en las emisiones de gases contaminantes. El objetivo planteado en este trabajo fue la determinación de los factores que han determinado la variación histórica tanto del consumo de energía como de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria de la celulosa y el papel en el periodo 1965-2001, para esto se realizó un análisis tanto de consumo energético como de emisiones de CO<sub>2</sub> con base en los datos históricos obtenidos, posteriormente se analizan dichas variaciones con dos metodologías utilizadas en la literatura internacional obteniendo las siguientes aportaciones: .

1. Para el caso de la variación en el consumo de energía se tiene que durante las dos primeras décadas (1965-1985), las dos metodologías utilizadas muestran que la variación en el consumo energético fue positiva es decir el consumo se incrementó al transcurrir el tiempo, y el factor físico que determina este incremento es la **actividad**, es decir, que al incrementarse la producción, el consumo de energía se incrementaba, ya que en estos años no se tenía conciencia del uso eficiente de la energía, ni las consecuencias a las que este uso irracional nos llevaría ( tal como el impacto ambiental que las emisiones de CO<sub>2</sub> han producido).

La tercer década se puede considerar como una etapa de transición, ya que durante la primer parte de ésta (1985 y 1990 ), los resultados obtenidos por ambas metodologías indican que el consumo de energía continua incrementándose, pero en estos años, es la **eficiencia** el factor que más contribuye al incremento del consumo de combustible, seguido por la actividad, de tal manera que en 1990 el consumo de energía alcanza el valor máximo registrado en los 36 años analizados. Esto puede significar que la industria trabajaba bajo condiciones ineficientes, ya que consume demasiada energía por unidad de producto.

Entre 1990 y 1995 los resultados muestran un cambio importante en el consumo de energía, ya que al aplicar las metodologías consideradas, se observa una variación negativa en el consumo de energía, lo que indica una disminución en el consumo energético, contribuyendo a esto los factores eficiencia, actividad y estructura, respectivamente, es decir, que la eficiencia dentro de la industria de la celulosa y el papel empieza a mejorar, por lo que se consume menos energía por tonelada de producto. Esta mejora en la eficiencia se da como resultado del inicio de la implementación de equipos eficientes y modernización de la industria, que surgen tanto por necesidad ambiental como económica. Así mismo el factor actividad contribuye en la disminución del consumo de energía en estos años, debido a que se registra también un decremento en la producción total .

Finalmente en la última etapa contemplada en este estudio (1996-2001) los resultados obtenidos por ambas metodologías muestran que la variación en el consumo de energía es ligeramente positiva, lo que indica un incremento en el consumo energético, y el factor al cual es atribuible este incremento es la **actividad**, mientras que la eficiencia y la estructura tienden a disminuir dicho consumo, es decir la producción crece, provocando un crecimiento moderado en el consumo de energía debido a que la industria opera en mejores condiciones tecnológicas, por lo que se aprecia una disminución en el consumo de combustible.

De acuerdo al análisis de los 36 años considerados, se observa que el crecimiento del consumo de energía que se dio básicamente en los primeros 25 años, llegando en este tiempo a un punto crítico en el cual los procesos ineficientes de esta industria provocaron un consumo innecesario de combustibles, teniendo como consecuencias perjuicios ambientales (debido a las emisiones de gases contaminantes) y económicos (por el gasto de combustible innecesario).

En los siguientes once años considerados se puede apreciar como las medidas que a nivel nacional se han tomado para lograr un consumo racional de energía, así como también disminuir el impacto ambiental, logran disminuir el consumo energético, sin ver afectada la producción de la industria.

2. Los resultados obtenidos en el análisis de la variación de emisiones de CO<sub>2</sub>, muestran que para la primera década (1965-1975), las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementan al transcurrir el tiempo, y son la **actividad** y el **cambio en la mezcla de combustible primario** los factores que determinan de manera más importante este incremento. Esto sucede debido a que al incrementarse la producción se incrementa el consumo de combustible, y siendo en este período el combustóleo el de mayor uso, se produce un incremento considerable en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por otra parte, el incremento en emisiones debida al cambio en combustible primario, adquiere importancia significativa debido a que entre 1960 y 1970 se da un cambio de combustible en la generación de energía eléctrica, es decir, el uso de gas natural por combustóleo hace que este factor adquiera importancia durante este período.

Los resultados de la aplicación de ambas metodología para los siguientes 10 años muestran que la variación en emisiones sigue siendo positiva, lo que indica un aumento en dichas emisiones. El factor que mayor influencia tiene sobre este resultado es la **actividad**, debido a que el combustible de mayor uso por esta industria es el combustóleo, así mismo la eficiencia empieza a ser un factor de cierto peso en el incremento de las emisiones por el rezago tecnológico de los equipos.

En la primera parte del tercer período considerado (1985-1990), las emisiones de CO<sub>2</sub> continúan incrementándose de acuerdo con los resultados obtenidos en ambas metodologías, y los factores que mayor influencia tienen sobre este incremento son la **eficiencia**, la **actividad** y el **cambio en la mezcla de combustible** respectivamente. La importancia del factor eficiencia nos indica que el mal uso de la energía en esta industria trae como consecuencia una gran cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> innecesarias hacia la atmósfera. El incremento de emisiones debidas al cambio en la mezcla final

y en la mezcla primaria de combustible se debe a que el combustóleo continúa siendo el de mayor uso en la industria de la celulosa y el papel.

Para la segunda parte de esta década (1990-1995) se presenta una discrepancia entre los resultados obtenidos mediante las dos diferentes metodologías. Los resultados obtenidos mediante los índices de Laspeyres indican que las emisiones de CO<sub>2</sub> empiezan a disminuir, ya que el resultado obtenido arroja un valor negativo. Los factores que determinan este comportamiento, de acuerdo con esta metodología son la **estructura**, la **actividad**, y la **eficiencia**, es decir que las emisiones se reducen en este periodo como consecuencia de la variación de los factores ya mencionados, cabe señalar que es en estos años cuando también se lleva a cabo el cambio en el uso de combustóleo por gas natural, hecho que definitivamente influye en la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los resultados obtenidos por medio de la metodología II indican que las emisiones de CO<sub>2</sub> continúan en aumento, lo que resulta contradictorio con el comportamiento histórico expuesto en este trabajo. Este resultado se presenta debido a que entre 1991 y 1992 se da un incremento muy brusco en el consumo de diesel y al aplicar la metodología, el valor de la variación en emisiones con respecto al cambio en combustible es muy grande. La aportación principal de este análisis lleva a recomendar que esta metodología no sea utilizada cuando se presentan cambios muy bruscos (con cambios en la variación de un factor a partir de aproximadamente un 100%) en alguno de los factores contemplados.

Finalmente para el último período (1995-2001) de acuerdo con los resultados obtenidos por las dos metodologías la tendencia en la variación de emisiones de CO<sub>2</sub> es a disminuir, ya que a pesar de que la segunda metodología es ligeramente positiva vemos que en ambas, la **actividad** tiende a incrementar las emisiones, mientras que la eficiencia y estructura tienden a disminuir las emisiones. Es decir en este último período la emisiones se incrementan, pero de manera moderada, debido a que la industria se encuentra trabajando en condiciones más eficientes que en los años anteriores.

3. Se observa que la actividad y la eficiencia en los procesos de producción en la industria de la celulosa y el papel han sido factores históricos determinantes tanto de la variación del consumo de energía como de la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Durante las dos primeras décadas y parte de la tercera, estos factores incrementaron el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>. A partir de 1990, cuando la preocupación por el impacto ambiental causado por las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes, así como también la importancia del uso racional de las fuentes de energía, han llevado a esta industria y muchas más ha implementar medidas de ahorro de energía, como son la introducción de motores mas eficientes, o bien implementar sistemas de cogeneración, los cuales son muy factibles en esta industria, debido a la necesidades de vapor que esta requiere para el proceso de secado, así como también el cambio de uso de combustible, por combustibles que tengan menores índices de emisión, logrando de esta manera el ahorro de combustible, con la consecuente disminución de emisiones, sin ver afectada la producción.

También es importante señalar la importancia que tienen las emisiones producidas por el consumo eléctrico, que aunque no son emisiones generadas directamente por la industria, el incremento de consumo eléctrico provoca que de manera indirecta se estén generando una gran cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera (en los últimos años las emisiones por consumo eléctrico contribuyen con un valor promedio de 32.5% de las emisiones totales de la industria), por lo que el uso racional de la electricidad influye de manera notable en las emisiones atribuibles a la industria.

De los resultados obtenidos en este trabajo, se observa que para el análisis de la variación en el consumo de energía, las dos metodologías utilizadas muestran las mismas tendencias en el comportamiento del consumo energético, y sus resultados coinciden al indicar cuales factores son responsables de los cambios en el consumo de energía para los diferentes periodos.

Al aplicar las metodologías para analizar la variación en emisiones de CO<sub>2</sub> observamos que debido a que la metodología utilizada por Farla et al. agrupa en un solo término las variaciones por mezcla final y primaria de combustibles, no nos da una idea suficientemente clara de cual de estos factores contribuye de manera más importante en el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, no obstante la tendencia en el comportamiento de las emisiones mostradas por ambas metodologías para el primero, segundo y cuarto periodo, son básicamente las mismas, coincidiendo también en los factores responsables de dicho comportamiento. Para la primer parte del tercer periodo (1985- 1990) los resultados mostrados por las dos metodologías coinciden, no así para la última parte de este periodo (1990-1995), donde la metodología utilizada por Farla et al, nos presenta resultados que no corresponden al comportamiento real mostrado en el análisis histórico.

De acuerdo con estos resultados, se sugiere el uso de la metodología I ( índices de Laspeyres) para poder aplicarla tanto al análisis de la variación en consumo de energía como para la variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y obtener resultados que describen tendencias correctas así como los factores responsables de dichas tendencias.

La metodología II ( Farla et all) se recomienda también utilizarla para realizar ambos análisis, tomando en cuenta que no funciona adecuadamente cuando se presentan cambios muy bruscos en alguno de los factores estudiados, así como también se tiene que considerar el hecho de que en un solo término se agrupan los efectos de las mezclas en combustible de uso final y combustible primario, por lo que si se requiere conocer cual de estos factores afecta de manera más importante a la variación en emisiones, es preferible utilizar la metodología I.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Andrew J. Ewing. Energy Efficiency in the Pulp and Paper Industry with Emphasis on Developing Countries. World Bank technical paper Number 34. pp. 91
- [2] Claudia Sheinbaum Pardo. Tendencias y perspectivas de la energía residencial en México. Programa universitario de energía, coordinación de la investigación científica. Universidad Nacional Autónoma de México. pp 204
- [3] Cámara Nacional de las industrias de la Celulosa y el Papel. Memoria estadística 1996. pp. 85
- [4] Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel. Memoria estadística 2001. pp
- [5] Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel. Memoria estadística 2002. pp 86
- [6] Comisión Federal de electricidad. Informe de Operaciones 1992, pp.60.
- [7] Comisión Federal de electricidad. Informe de Operaciones 2000, pp.62.
- [8] Congress of the United States, Office of technology Assessment..Industrial Energy Efficiency. Pp. 49.
- [9] David Torres. Diario la Crónica, Lunes 8 de septiembre de 1997, sección Medio ambiente, pp. 10B, 11B.
- [10] Demand Policy and Analysis Division . Energy Efficiency Branch. Energy Efficiency Trends in Canada. April 1996.
- [11] Fernando Schutz E. Instituto de Investigaciones Eléctricas. División Fuentes de Energía. Uso Eficiente de la Energía. Pp 170
- [12] Gabriel León de Los Santos. Tesis de doctorado Estudio de la viabilidad de la cogeneración industrial en México. Universidad Nacional Autónoma de México. Marzo del 2003. pp 190
- [13] Hans Lenz. Historia del papel en México y cosas relacionadas (1525-1950). Editorial Miguel Angel Porrua. Primera edición ,1990. pp 798.
- [14] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Estadísticas históricas de México tomo II.
- [15] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. XIV Censo Industrial. Industrias Manufactureras Productos y Materias Primas. Subsector 34. Papel y Productos de papel Imprentas y Editoriales. Censos Económicos 1994.. pp 49

- [16] Jacco Farla, Kornelis Blok and Lee Schipper. Energy efficiency developments in the pulp and paper industry. *Energy Policy*, Vol 25, Nos 7-9, pp 13.
- [17] John B. Calkin. *Modern Pulp and Paper Making*. Reinhold Publishing corporation. Tercera edición.
- [18] Ken N. Law, Jacques L. Valade and Zhijun Li. Recycling Behavior of Thermomechanical pulp: effects of refining energy. *Tappi Journal* . Vol. 7 No. 10. pp. 7  
Kivoaki Iida. Current pulp production in Japan and its research and technological topics. *Tappi Journal*, Vol. 78, No. 4 pp. 7
- [19] Lee Schipper, Michael Ting, Marta Khrushch and William Glove. The evolution of carbon dioxide emissions from energy use in industrialized countries: an end-use analysis. *Energy Policy*. VI 25. Nos. 7,9, 1997. pp 21.
- [20] L.Schipper, R. Howart, B. Andersson, and L. Price. Lawrence Berkeley Laboratory, University of California. *Energy Use in Denmark: An International Perspective* August 1992. pp. 175.
- [21] *Petróleos Mexicanos*. Consumo de energía en la industria de la celulosa y el papel. Mayo de 1987. pp. 180.
- [24] *Revista de la Asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y del papel*. Vol. 35 No. 2 Marzo/abril 1995. pp. 64
- [25] *Revista de la asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y el papel* vol 36 No.1 . Enero/febrero 1996. pp. 63
- [26] *Revista de la Asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y del papel*. Volumen 36 No. 2 Marzo/abril 1996. pp 64
- [27] *Revista de la asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y el papel* vol 36 No.3 . Mayo/Junio 1996. pp 64.
- [28] *Revista de la asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y el papel* vol 36 No.4 . Julio/Agosto 1996. pp. 63.
- [29] *Revista de la Asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y del papel*. Vol. 36 No. 5 Septiembre / Octubre 1996. pp. 64.
- [30] *Revista de la Asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y del papel*. Vol. 36 No. 6 Noviembre / Diciembre 1996. pp. 63.
- [31] *Revista de la asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y el papel* vol 37 No.1 Enero/Febrero 1997. 64..
- [32] *Revista de la Asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y del papel*. Volumen 37 No. 4 Julio / Agosto 1997. pp. 63.

[33] Secretaría de Energía. Dirección General de Política y Desarrollo Energéticos. Balance Nacional de Energía 1998. pp. 102.

[34] Secretaría de Energía. Dirección General de Política y Desarrollo Energéticos. Balance Nacional de Energía 2001. pp. 143.

[35] [www.cnicp.org.mx](http://www.cnicp.org.mx)

Página web de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel

[36] [www.hemero.digital.unam.mx/anuias](http://www.hemero.digital.unam.mx/anuias).

Roman Lamis Robles. Claro Oscuro 1994. Un caso de experiencias de investigación aplicada dentro de la industria papelera Mexicana. Hemeroteca virtual Anuias..

[37] [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx).

Página web del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

[38] [www.guayubira.org.uy/celulosa/](http://www.guayubira.org.uy/celulosa/)

Página de internet . Fuente: Boletín N° 83 del WRM (movimiento mundial por los bosques tropicales), junio de 2004.

# APÉNDICE A

## LA HISTORIA DEL PAPEL EN MÉXICO

La historia del papel en México como en el resto del mundo esta ligada a las diversas necesidades que han surgido, como ejemplo podemos mencionar las labores de evangelización que tuvieron lugar en los XVI y XVII , donde los diferentes dialectos empleados por los indígenas presentaban una barrera a esta labor, por lo que se hizo uso del papel como medio para transmitir por medio de imágenes las ideas deseadas; la escasez del papel proveniente de España en esta época dio como resultado el inicio de la producción de papel en nuestro país. Con el transcurso del tiempo el uso del papel en México se incrementa de acuerdo a las necesidades de la época prevaleciente. A continuación se presenta brevemente la historia de la industria papelera en México.

En México desde las épocas pre-hispanicas, los pueblos autóctonos elaboraban laminas semejantes a un papiro a partir de la corteza del Amate (higera originaria de México ) y de hojas de maguey entre otras plantas fibrosas . Pero es en España donde por primera vez se manufacturó papel en Europa (1150). La materia prima utilizada para la manufactura del papel en esta época era el trapo.

Para convertir el trapo en papel vendible se pasaba por cerca de veinte operaciones distintas, mismas que, requerían de un tiempo considerable , y en ciertas ocasiones estaban sujetas a la estación del año y a la disponibilidad de agua. La fabricación del proceso empezaba cuando el trapero recogía los andrajos que entregaba a un intermediario, o bien directamente al molino de papel. En éste se efectuaba la selección preliminar, según sus cualidades, siendo los materiales preferidos el lino, cáñamo y algodón de primera calidad y limpieza, que eran destinados a papel de escritura, dibujos y tabacos; los mismos materiales pero de menor calidad se destinaban para la fabricación de papel de mediana calidad y los desperdicios provenientes de alpargatas, restos de cuerdas y demás servían para envolturas y el llamado papel estraza. Se procedía a seleccionar la materia prima eliminando cuerpos extraños (botones y algunas costuras), lo cortaban en trozos de unos cinco por diez centímetros, que colocaban en canastas o en cajones, separando las calidades.

El siguiente paso consistía en fermentar todo el trapo en unos tanques denominados cubas, ya que este proceso se llevaba a cabo mediante la acción de bacterias termófilas que requerían de un medio líquido para alimentarse, era necesario que el trapo fuera constantemente humedecido o rociado con agua; el tiempo necesario para la fermentación dependía de la calidad del trapo, de su limpieza y de la estación del año.

Una vez que el trapo estaba en su punto, se le llevaba a las pilas papeleras, las cuales formaban parte de un molino de mazos(ver figura 1). Existían tres clases de pilas: la fuerte, la afinadora y la que servía para dar a la pasta el tratamiento final. En cada una de ellas accionaban tres mazos, cuyos cabezales(en la dos primeras) estaban errados con veinte o más clavos de hierro, en la pila fuerte tenían unos nueve milímetros de grueso para desmenuzar el trapo y en la segunda eran de 15 mm a fin de aplastar el tejido orgánico compuesto de celdillas, obtener fibrillas y dividir el eje longitudinal del haz

fibroso, cada una de estas operaciones requería hasta de 24 horas; la semipasta era transferida a las pilas subsecuentes. Los mazos de la tercera pila ya no estaban herrados, pues en este paso sólo se trataba de dar a la pasta el toque final. Posteriormente se llevaba a cabo la formación de las hojas de papel; para realizar esta operación, se ponía en la pila la cantidad de pasta necesaria, diluyéndola en agua. La suspensión fibrosa resultante se agitaba y mantenía a una temperatura adecuada, mediante un hornillo colocado en la parte exterior e inferior de la tina, en seguida, se sumergía en la tina un molde al cual lo llenaba de pasta, y se le extraía de manera horizontal y sacudía ligeramente para eliminar de esta manera el agua excedente y a la vez se uniformizaba la capa fibrosa, esta última se dejaba escurrir para después volcar la capa fibrosa sobre un paño de lana, y cubriéndose con otro paño. Cuando se acumulaban 261 pliegos de papel (una posta) se llevaban a una prensa húmeda, a fin de exprimirles toda el agua que fuera posible. Terminada esta operación separaban las hojas de papel de los paños y se colocaban una sobre otra, hasta formar nuevamente la posta, para llevarla a la prensa seca, repitiendo las operaciones de separación y prensado las veces que fuera necesario.

A pesar de todo el prensado el papel retenía cierta humedad, por lo que era llevado a un mirador, el cual era un lugar apto para que el papel se secase por completo. La superficie del papel proveniente del mirador era áspera, por lo que era necesario lustrarlo, originalmente esta operación que se realizaba a mano con piedras especiales, pero resultaba ser un trabajo arduo, lento y de muy bajo rendimiento. A partir del siglo XVI se empleó el martinete.\* Como se puede apreciar, la elaboración del papel a mano resultaba laboriosa y desde los siglos XI y XII este arte representaba toda una tradición.

La manufactura del papel y su comercio en la Nueva España estuvieron sujetas a las limitantes disposiciones impuestas por La Corona Española durante un periodo de trescientos años. Prohibiendo(1638) el establecimiento de talleres o actividades relacionadas con la transformación de productos naturales, siendo los molinos de trigo (o de pan de llevar como se les denominó), y los lugares donde se tejían telas de lana los únicos establecimientos permitidos, causando de esta manera el estancamiento de la elaboración de papel, misma que modestamente se había iniciado a fines del siglo XVI y principios del XVII, en al menos tres establecimientos que inicialmente eran molinos de trigo ya que estos podían ser fácilmente convertidos en molinos papeleros. Los molinos de papel que realizaron esta actividad fueron: Culhuacan situado en la rivera del río Magdalena al sur de la actual Ciudad de México, El Rancho de Papel y Miraflores. A continuación se presenta una breve cronología de estos tres establecimientos.

El 12 de Octubre de 1550 el Virrey Antonio de Mendoza, dio autorización de construir un molino de pan de llevar para aquellas personas que quisieran moler trigo; posteriormente anexo a este molino se estableció en 1569, donde en 1576 se estableció un seminario de lenguas, el que tenía la obligación de impartir la enseñanza de lenguas indígenas. Para la impartición de sus labores apostólicas requerían de papel, cuyo envío de España era limitado e irregular, lo que indujo a la orden Agustina ahí establecida a la elaboración de papel con el fin de no afectar sus labores, de esta manera el batán de papel de Culhuacan se convierte en el primer establecimiento en el que se elaboró papel en todo el continente Americano, desconociéndose cuando dejó de operar.

Para 1618 se sabe que operaba el denominado Rancho de Papel, situado en Magdalena Contreras, acerca de este molino, se tiene escasa y confusa información acerca de su

origen, no se sabe ni con que tipo de equipo contaba para la elaboración de papel . De acuerdo con algunos documentos(básicamente escrituras de terrenos colindantes) que en fecha no determinada anterior a 1629, ya se elaboraba papel en el molino citado. Este molino desapareció alrededor de 1775, aunque por información oral de algunos habitantes de la región este se convirtió alrededor de 1851 en una herrería, y conjuntamente se siguió elaborando papel por algún tiempo.

En 1657 o tal vez antes inicio la elaboración de papel en el molino denominado Miraflores (que anteriormente era un molino de pan llevar), a partir del año en cuestión y hasta 1781 no se tiene idea del desarrollo de este establecimiento. En 1750 se le cambio el nombre a Molino de Nuestra Señora de Loreto, época en la cual se cumplían dos labores, la molienda de trigo y la elaboración de papel a base de trapo. Entre 1780 y 1905 los molino tuvieron 33 propietarios y fue hasta 1825 cuando Zozaya y Bermúdez instalo la primer maquina papel , iniciando su actividad en 1825. Esta fabrica siguió creciendo con el transcurso del tiempo, posteriormente se unió a Peña Pobre y continua elaborando celulosa y papel actualmente.

Debido a las restricciones mencionadas anteriormente (siglo XVI- XVII), probablemente los molinos existentes sólo pudieron sostener una casual y encubierta producción. La profusión de batanes y molinos papeleros en Europa causó la escasez general de trapo; pero aún ante este problema no accedió a fomentar la elaboración de papel en la Nueva España, únicamente intento fomentarla recolección de trapo para enviarlo a España . Todas estas censuras prevalecieron durante 250 años. Transcurridos dos siglos todas las políticas económicas existente prevalecían.

Al iniciarse la lucha de independencia, la que se logro en un transcurso de diez años, el balance económico de México era bastante desastroso, por lo que fue realmente difícil alcanzar una independencia económica. En 1825 José Manuel Zozaya instalo en el antiguo Molino de Loreto la primer maquina de papel del México independiente. Y en 1830 cuando Lucas Alaman constituyo el banco del Avió para el Fomento Industrial, teniendo como algunos de sus objetivos promover la edificación de fábricas textiles de algodón, así como de papel.

En lo que se refiere a las fabricas de papel, en 1831, Lucas Alaman ordeno dos maquinarias completas para la elaboración de esté, pero no contaba con un lugar para instalarlas, y no fue sino hasta seis o siete años más tarde cuando dicha maquinaria siendo de poca capacidad y en ese tiempo ya obsoletas fueron instaladas una en el Hospicio de Pobres en la ciudad de Puebla y la otra en Cocolapan, estado de veracruz, en una empresa constituida por el propio Alaman.

Además de estas maquinas y no obstante los problemas políticos existentes en el país , se encontraban también en operación ocho establecimientos de elaboración de papel : Además de Loreto (mencionado ya con anterioridad), habían iniciado sus actividades La Constancia en Tatalpa, El Batan, en Atemajac, ambas en el estado de Jalisco; Belén, Peña Pobre y Santa Teresa en el Distrito Federal; Cocolapan, en el estado de Veracruz, Y la Beneficencia Pública, en la ciudad de Puebla. Belen instaló la primera máquina continua con un cilindro formador y tres secadores; La Beneficencia, también la primera mesa plana con cinco secadores, siendo ésta la de mayor capacidad en ese tiempo.

En 1845 La Beneficencia Publica y Belén habían iniciado la elaboración de papeles para imprenta, pero fueron acusados por los impresores de haber constituido un monopolio en perjuicio de la difusión de la cultura, hecho que se dio repetidamente. Estos ataques a la naciente industria concluyeron en 1935 con la promulgación del decreto federal mediante el cual quedó constituida la Productora e Importadora de Papel, S.A.; (PIPSA).

Siguieron a las industrias ya mencionadas las pequeñas fábricas de papel de Chimalhuacán, Puente Sierra y Puerto Pinto, cuya actividad sólo fue de dos o tres años, a partir de 1850 no se tienen noticias relativas a el inicio de actividades de alguna otra. Al contrario La Beneficencia suspendió sus labores en 1877 y, en 1890 la Constancia, siguiéndoles en 1900 Belén y Cocolapan y, posteriormente Atemajac y Santa Teresa.

Todas aquellas fabricas emplearon como materia prima el trazo de lino, de cáñamo y de algodón, cuya escasez aumentaba, por lo que se recurrió (en pequeña escala) al empleo de las fibras de la penca de Maguey. En 1890 se inicio la era de la madera como materia prima celulósica, al edificarse la fábrica de San Rafael, seguida hacia 1900, por la del Progreso Industrial que elaboró papeles finos y recubiertos. En 1905 fue modernizada la planta de Loreto. La expansión de la industria papelera nacional tuvo mayor importancia después de la segunda guerra mundial y hasta la década de los ochentas, a partir de este año y hasta la época actual, la expansión de esta industria se ha dado de manera mas lenta.

## APÉNDICE B

**DATOS DE CONSUMO ENERGÉTICO Y PRODUCCIÓN DE CELULOSA Y PAPEL PARA LOS AÑOS COMPRENDIDOS ENTRE 1965 Y EL 2001 Y DERIVACIÓN DE DIFERENTES FACTORES DE PESO.**

Consumo anual de combustibles fósiles y electricidad (PJ)						Consumo total anual de energía (PJ)
año	gas licuado	diesel	combustóleo	gas natural	electricidad	
1965	0	0.066	5.259	3.992	1.073	10.39
1966	0	0.07	5.636	4.278	1.149	11.133
1967	0	0.076	6.096	4.628	1.251	12.051
1968	0	0.082	6.567	4.985	1.352	12.986
1969	0	0.091	7.278	5.525	1.515	14.409
1970	0	0.1	7.978	6.057	1.671	15.806
1971	0	0.101	8.078	6.132	1.69	16.001
1972	0	0.109	8.73	6.627	1.827	17.293
1973	0	0.124	8.309	7.515	2.112	18.06
1974	0	0.139	11.155	8.468	2.575	22.337
1975	0	0.132	10.54	8.001	2.443	21.116
1976	0	0.148	11.842	8.99	2.758	23.738
1977	0	0.162	12.934	9.819	3.107	26.022
1978	0	0.176	14.086	10.693	3.306	28.261
1979	0	0.192	15.406	11.695	3.622	30.915
1980	0	0.211	16.874	12.809	3.963	33.857
1981	0	0.217	17.353	13.173	4.083	34.826
1982	0	0.221	17.675	13.418	4.159	35.473
1983	0	0.229	18.345	13.926	4.317	36.817
1984	0	0.249	19.928	15.128	4.695	40
1985	0	0.272	21.78	16.534	5.175	43.761
1986	0	0.274	21.979	16.685	4.537	43.475
1987	0	0.282	22.795	17.303	5.286	45.666
1988	0	0.282	22.795	17.303	5.589	45.969
1989	0	0.374	26.402	19.583	8.61	54.969
1990	0.247	0.517	31.08	14.266	9.269	55.379
1991	0.171	0.994	18.63	24.248	7.966	52.009
1992	0.231	4.16	14.915	19.432	9.82	48.558
1993	0.227	4.069	14.589	19.006	9.607	47.498
1994	0.235	4.212	15.098	19.673	9.942	49.16
1995	0.216	3.901	9.396	18.231	9.215	40.959
1996	0.227	4.121	13.945	19.259	9.734	47.286
1997	0.204	3.705	12.538	17.316	8.752	42.515
1998	0.229	4.167	14.101	18.597	9.4	46.494
1999	0.497	4.384	12.891	18.434	9.983	46.189
2000	1.13	1.086	14.972	15.917	8.798	41.903
2001	0.292	0.879	14.771	12.155	9.025	37.122



<b>año</b>	<b>Consumo eléctrico anual(PJ)</b>	<b>Consumo de energía primaria para generación eléctrica*(PJ)</b>
<b>1965</b>	1.07	3.07
<b>1966</b>	1.15	3.28
<b>1967</b>	1.25	3.57
<b>1968</b>	1.35	3.86
<b>1969</b>	1.52	4.33
<b>1970</b>	1.67	4.77
<b>1971</b>	1.69	4.83
<b>1972</b>	1.83	5.22
<b>1973</b>	2.11	6.03
<b>1974</b>	2.58	7.36
<b>1975</b>	2.44	6.98
<b>1976</b>	2.76	7.88
<b>1977</b>	3.11	8.88
<b>1978</b>	3.31	9.45
<b>1979</b>	3.62	10.35
<b>1980</b>	3.96	11.32
<b>1981</b>	4.08	11.67
<b>1982</b>	4.16	11.88
<b>1983</b>	4.32	12.33
<b>1984</b>	4.70	13.41
<b>1985</b>	5.18	14.79
<b>1986</b>	4.54	12.96
<b>1987</b>	5.29	15.10
<b>1988</b>	5.59	15.97
<b>1989</b>	8.61	24.60
<b>1990</b>	9.27	26.48
<b>1991</b>	7.97	22.76
<b>1992</b>	9.82	28.06
<b>1993</b>	9.61	27.45
<b>1994</b>	9.94	28.41
<b>1995</b>	9.22	26.33
<b>1996</b>	9.73	27.81
<b>1997</b>	8.75	25.01
<b>1998</b>	9.40	26.86
<b>1999</b>	9.98	28.52
<b>2000</b>	8.80	25.14
<b>2001</b>	9.03	25.79

- Considerando el 35 %de eficiencia para la generación eléctrica

Producción anual de los diferentes tipos de celulosas (toneladas)					
año	Químicas de madera	Químicas de plantas anuales	Mecánicas	otras	Total de celulosa
1965	182072	89803	56050	10001	337926
1966	183245	95113	59698	14744	352800
1967	200934	101224	63556	12549	378263
1968	216402	105089	61893	8831	392215
1969	255020	136482	58978	5873	456353
1970	252977	147305	66028	6564	472874
1971	247388	157203	61997	8097	474685
1972	265634	147833	62354	7342	483163
1973	285146	166222	60672	1000	513040
1974	303638	202736	58498	1891	566763
1975	313516	183881	50760	2065	550222
1976	356527	208047	53708	4723	623005
1977	378746	233808	53987	5436	671977
1978	414179	228030	59830	4369	706408
1979	400866	252279	59452	4871	717468
1980	402291	277980	46117	5381	731769
1981	421228	267541	50028	3686	742483
1982	422343	268708	53410	3658	748119
1983	414454	284180	56130	4716	759480
1984	437671	291725	65481	5765	800642
1985	462354	248391	102944	6727	820416
1986	422085	225963	117472	7019	772539
1987	438176	227392	107502	7465	780535
1988	433162	247243	118062	10750	809217
1989	413449	259301	126293		799043
1990	391931	254018	125896		771845
1991	359444	237117	108550		705111
1992	280272	240177	39334		559783
1993	208799	121390	13382		343571
1994	159581	116739			276320
1995	278356	122593	19576		420525
1996	324124	153956	33227		511307
1997	316477	134194	5590		456261
1998	330185	182144	13915		526244
1999	300819	194705	48602		544126
2000	299502	199755	82808		582065
2001	138558	174365	72023		384946

Producción de los diferentes tipos de papel (toneladas)				
Escritura e impresión	Empaque	Sanitario y facial	Especiales	Total de papel
234713	310765	28960	16598	591036
241486	337506	32632	21799	633423
263069	372731	33399	15919	685118
287833	391149	39648	19420	738050
309012	426936	49663	32369	817980
217315	585040	56256	38076	896687
218982	587739	58392	42708	907821
244413	622410	70985	43319	981127
257978	729610	88015	37055	1112658
296828	805395	99752	51713	1253688
285858	759018	105176	34551	1184603
349087	824893	112491	44451	1330922
393922	888987	126324	44423	1453656
434228	956005	145483	47368	1583084
501353	1013687	162363	54022	1731425
559675	1108479	183834	44415	1896403
555321	1119659	223865	51419	1950264
577423	1106330	247921	54799	1986473
603719	1153153	245677	59242	2061791
708411	1198159	272678	60431	2239679
782926	1294994	306828	63017	2447765
819030	1283577	317134	50488	2470229
818519	1367942	339412	48751	2574624
826838	1359412	359525	47776	2593551
872742	1463008	351667	49351	2736768
925171	1523014	385032	37705	2870922
891896	1581196	387958	34852	2895902
833686	1567361	391636	32544	2825227
722750	1567770	446748	26165	2763433
653264	1718259	463564	25075	2860162
774009	1771788	477466	23890	3047153
808387	1890565	493500	26807	3219259
915949	1956656	595476	23420	3491501
931276	2093492	621566	23032	3669366
945449	2167651	661522	21457	3796079
943047	2235317	691213	27425	3897002
897099	2247755	688694	42195	3875743

## DERIVACIÓN DE LOS FACTORES DE PESO PARA DIFERENTES PRODUCTOS [4]

### **Celulosa mecánica de madera**

En el proceso de producción de pulpa mecánica de madera se libera una gran cantidad de calor en el proceso de molienda. Debido a que esta energía recuperada no aparece como consumo de energía para la industria de la celulosa y el papel, se le asigna un valor negativo a la demanda de calor específico de la pulpa mecánica. Para la obtención del factor de peso utilizado se evaluó el mejor consumo de energía para el proceso de triturado en la fabricación de la pulpa mecánica de madera, y la pulpa termomecánica por separado, de los valores obtenidos se tomó el promedio como el factor de peso.

Los valores reportados en la literatura para el proceso de molienda de la pulpa mecánica, van desde 0.2 a -1 GJ/ton ( en la industria de la celulosa y papel en Finlandia). Considerando que aproximadamente el 30% de la energía liberada en este proceso es recuperable, en este trabajo se utilizara el valor de -1.5 GJ/ton como consumo específico de calor y 5 GJ/ton como consumo eléctrico, el cual es más bajo que el valor reportado por las fabricas Finlandesas.

Una Estimación mas practica (Nilsson 1995) para el consumo específico de energía para la elaboración de pulpas termomecánica, es de alrededor de 5.5 GJ de electricidad por tonelada. Si se asume que un 50% de la energía calorífica es recuperable, entonces se considera un consumo específico de calor de - 2.75 GJ/ton.

Tomando el promedio de los valores considerados, podemos usar un consumo específico de calor de -2.1 GJ/ton y un consumo específico eléctrico de **5.3 GJ/ton**.

En el artículo tomado como referencia para la elaboración de este trabajo, se considera un promedio de 40% de eficiencia en la generación de energía eléctrica, por lo tanto, el consumo de energía primaria total considerado es de **11.2 GJ/ton** para pulpa mecánica de madera.

### **Celulosa Química de madera**

Los datos encontrados en la literatura para la demanda de calor específico de pulpa Química de madera varían desde 7.8 GJ/ton para una fabrica modelo en 1990, hasta 14 GJ/ton en una fabrica finlandesa (1993). Se estima que una fábrica modelo en el año 2000 utilizará 7.8 GJ/ton. En el artículo de referencia se utiliza un valor de **10 GJ/ton**, el cual es el promedio para una fabrica modelo entre los años de 1980 y 2000.

Para el consumo eléctrico específico los valores van de 2.1 GJe /ton en una fabrica modelo en 1990 a 2.7 GJe/ton para una fabrica modelo en 1980. Se utilizara como factor de peso el valor de **2.5 GJe /ton** , el cual es el promedio para una fabrica modelo entre 1980 y el 2000.

De acuerdo con los valores que se tomaran para consumos específicos de calor y electricidad, la energía primaria específica total utilizada para la elaboración de pulpa

química es de **16.3 GJ/ton** (considerando en estos países una eficiencia del 40% en generación eléctrica)

### **Otras pulpas de madera**

Para las pulpas de madera que son manufacturadas por procesos diferentes a los mecánicos o químicos no existen datos del consumo específico de energía. Se asume de cualquier manera que una gran parte de estas pulpas de madera son manufacturadas por procesos mecánicos, en los cuales se utilizan químicos para el fácil rompimiento de la madera. Estos procesos también son llamados semi-mecánicos. Los datos sugieren que el consumo específico de electricidad puede ser más alto que para las pulpas mecánicas, dependiendo de la calidad del producto. La razón del calor recuperado del proceso de molido puede ser mayor al 65%, por tanto se usará un consumo de calor específico de **-3 GJ/ton** y un consumo específico eléctrico de **6 GJe/ton** esto asumiendo que el calor recuperado es del 50%. La energía primaria específica total será por lo tanto de **12 GJ/ton**.

### **Otras pulpas**

Las pulpas de fibras que son elaboradas a partir de otros materiales distintos a la madera, son manufacturadas mediante diferentes procesos, de los cuales no se tiene un dato preciso de cual es el consumo específico de energía. Por lo anterior, se asume que el mismo proceso de pulpeo para otras pulpas de madera, puede ser utilizado para este tipo de pulpas, y se le asigna el mismo consumo específico de energía.

### **Papel para escritura e impresión**

La categoría de productos para imprenta y escritura es muy diversa, de tal manera que los datos de consumo de energía específico también lo son. Los rangos reportados para consumo de calor específico van desde 5.5 GJ/ton para papel para revistas en Finlandia hasta 8.9 GJ/ton para la producción de papel de imprenta en Holanda (1989). Se usará el valor de **7 GJ/ton** como el valor estimado práctico disponible en 1990 para la producción de papel para escritura e impresión.

El consumo específico de electricidad va desde 1.9 GJe/ton en Holanda en la producción de papel para imprenta en 1986 a 3.2 GJ/ton para papel recubierto en Finlandia. Se usará **2 GJe/ton** por ser el valor disponible práctico en 1990. El consumo específico de energía primaria total será de **12 GJ/ton**.

### **Papel sanitario y facial.**

El consumo de calor específico para la manufactura de este tipo de papel se encuentra en el rango de 5.3 GJ/ton para la industria en Holanda (en 1986) a un promedio de 7 GJ/ton para la industria finlandesa. Se asume un valor de **5 GJ/ton** para el mejor valor práctico disponible en 1990.

El promedio de consumo de electricidad específico en la industria Finlandesa para papel sanitario, es reportado de 3.6 GJe/ton. Se reporta también un consumo específico de **2.4 GJe/ton** como un mínimo en los Países Bajos.

Se usaran como datos para la elaboración de este trabajo los valores anteriores, por lo que el consumo específico de energía primaria total corresponde a **11 GJ/ton**.

### **Papel para empaque.**

La categoría de productos de papel para empaque incluye muchos diferentes tipos de papeles. El consumo de calor específico para la producción de papel para empaque se reporta entre los rangos de 5 GJ/ton para Holanda en 1986 y 7GJ/ton para cartón corrugado para cajas en Finlandia. Se usara el valor de **5 GJ/ton** como el mejor valor practico disponible en 1990.

El consumo de energía eléctrica específico va desde 1.3 GJe/ton para algunos productos en los Países Bajos en 1986 a 2.9 GJe/ton para cartón corrugado para cajas en a industria Finlandesa. Se tomara un valor de 1.5 GJe/ton como el mejor valor practico disponible. El consumo de energía primaria específico es por lo tanto de **8.8 GJ/ton**

### **Otros papeles.**

La categoría de otros papeles incluye papel fotográfico, cartón, especiales y muchos otros productos. No existen datos disponibles del consumo específico de energía para esta categoría de productos. Se asumirá que el consumo de energía específico para esta categoría estará entre el consumo de energía para papel de escritura e impresión y el papel para empaque lo que da valores de **6 GJ/ton** para el calor específico y **1.8 GJe/ton** para electricidad, por lo que el consumo específico de energía primaria total es de **10.5 GJ/ton**.

## APÉNDICE C

### DATOS DE PRODUCCIÓN, IMPORTACIÓN , EXPORTACIÓN Y CONSUMO APARENTE DE CELULOSA Y PAPEL

CONSUMO APARENTE DE CELULOSAS (toneladas)				
Año	Producción	Importación	Exportación	Consumo aparente
1965	337926	81416		419342
1966	352800	71281		424081
1967	378263	80238		458501
1968	392215	83174		475389
1969	456353	115188		571541
1970	472874	168565		641439
1971	474685	84454		559139
1972	483163	84754		567917
1973	513040	212663		725703
1974	566763	343662		910425
1975	550222	135121		685343
1976	623005	155419		778424
1977	671977	203218		875195
1978	706408	334941		1041349
1979	717468	409714		1127182
1980	731769	657753		1389522
1981	742483	453126		1195609
1982	748119	398160		1146279
1983	759480	671469		1430949
1984	800642	737064		1537706
1985	820416	310887		1131303
1986	772539	345470		1118009
1987	780535	470579	20328	1230786
1988	809217	356022	52456	1112783
1989	799043	304320	31078	1072285
1990	771845	335736	23348	1084233
1991	705111	340554	858	1044807
1992	559783	397733		957516
1993	343571	580233		923804
1994	276320	570875		847195
1995	420525	477363	5228	892660
1996	511307	399330	18265	892372
1997	456261	518000	1048	973213
1998	526244	448052		974296
1999	544126	506393		1050519
2000	582065	455421		1037486
2001	384946	663202		1048148

CONSUMO APARENTE DE PAPEL (TONELADAS)			
Producción	Importación	Exportación	Consumo aparente
591036	130170		721206
633423	164756		798179
685118	173766		858884
738050	170446		908496
817980	200975		1018955
896687	262143		1158830
907821	194294		1102115
981127	221322		1202449
1112658	214025		1326683
1253688	292476		1546164
1184603	302206		1486809
1330922	284855		1615777
1453656	297199		1750855
1583084	160980		1744064
1731425	240663		1972088
1896403	534419		2430822
1950264	568667		2518931
1986473	281390	29254	2238609
2061791	145675		2207466
2239679	73492	48851	2264320
2447765	105767	38447	2515085
2470229	70683	135745	2405167
2574624	66332	243108	2397848
2593551	143186	252556	2484181
2736768	174309	200870	2710207
2870922	278859	167757	2982024
2895902	471552	120336	3247118
2825227	522873	156570	3191530
2763433	746175	119944	3389664
2860162	1022594	134656	3748100
3047153	584146	386622	3244677
3219259	653385	238418	3634226
3491501	905310	189635	4207176
3669366	979727	229527	4419566
3796079	1258491	230479	4824091
3897002	1494209	205664	5185547
3875743	1563955	214607	5225091

## APÉNDICE D

### IMPORTACIÓN DE FIBRAS SECUNDARIAS Y VOLUMEN DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS PARA LA FABRICACIÓN DE PAPEL

<b>IMPORTACIÓN DE FIBRAS SECUNDARIAS</b>		
año	Total de fibras secundarias (toneladas)	Importaciones (toneladas)
1986	1577442	751680
1987	1719305	773017
1988	1767942	837273
1989	1965783	958162
1990	2147778	881266
1991	2176500	944757
1992	2288548	1025292
1993	2252396	965382
1994	2547179	1087017
1995	2740260	1108329
1996	2951539	1255214
1997	3059923	1405958
1998	3209686	1432180
1999	3392174	1348723
2000	3522071	1385020

<b>VOLUMEN DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL</b>			
año	Celulosas	Fibras secundarias	Total
<b>1986</b>	1141048	1577442	2718490
<b>1987</b>	1117328	1719305	2836633
<b>1988</b>	1122061	1767942	2890003
<b>1989</b>	1028462	1965783	2994245
<b>1990</b>	1021248	2147778	3169026
<b>1991</b>	930388	2176500	3106888
<b>1992</b>	850218	2288548	3138766
<b>1993</b>	801803	2252396	3054199
<b>1994</b>	682388	2547179	3229567
<b>1995</b>	758233	2740260	3498493
<b>1996</b>	804774	2951539	3756313
<b>1997</b>	908376	3059923	3968299
<b>1998</b>	926231	3209686	4135917
<b>1999</b>	857167	3392174	4249341
<b>2000</b>	867727	3522071	4389798

## APÉNDICE E

### INTENSIDADES ENERGÉTICAS

En este apéndice se presentan los datos necesarios para el cálculo de la intensidad energética global (que se determina mediante el cociente de la energía total consumida y la producción total correspondientes a un determinado año), y la intensidad energética por combustible (que se determina mediante el cociente entre el consumo de cada una de las fuentes energéticas utilizadas, y la producción total para cada año).

año	Consumo total de energía (PJ)	Producción total (celulosa + papel) (ton)	intensidad energética global (PJ/ton)
1965	10.39	928962	1.11845E-05
1966	11.133	986223	1.12885E-05
1967	12.051	1063381	1.13327E-05
1968	12.986	1130265	1.14893E-05
1969	14.409	1274333	1.13071E-05
1970	15.806	1369561	1.15409E-05
1971	16.001	1382506	1.15739E-05
1972	17.293	1464290	1.18098E-05
1973	18.06	1625698	1.11091E-05
1974	22.337	1820451	1.227E-05
1975	21.116	1734825	1.21718E-05
1976	23.738	1953927	1.21489E-05
1977	26.022	2125633	1.2242E-05
1978	28.261	2289492	1.23438E-05
1979	30.915	2448893	1.26241E-05
1980	33.857	2628172	1.28823E-05
1981	34.826	2692747	1.29333E-05
1982	35.473	2734592	1.2972E-05
1983	36.817	2821271	1.30498E-05
1984	40	3040321	1.31565E-05
1985	43.761	3268181	1.339E-05
1986	43.475	3242768	1.34068E-05
1987	45.666	3355159	1.36107E-05
1988	45.969	3402768	1.35093E-05
1989	54.969	3535811	1.55464E-05
1990	55.379	3642767	1.52025E-05
1991	52.009	3601013	1.44429E-05
1992	48.558	3385010	1.4345E-05
1993	47.498	3107004	1.52874E-05
1994	49.16	3136482	1.56736E-05
1995	40.959	3467678	1.18117E-05
1996	47.286	3730566	1.26753E-05
1997	42.515	3947762	1.07694E-05
1998	46.494	4195610	1.10816E-05
1999	46.189	4340205	1.06421E-05
2000	41.903	4479067	9.3553E-06
2001	37.122	4260689	8.71268E-06



Consumo energético por combustible (PJ) y producción total (ton)						
año	gas licuado	diesel	combustóleo	gas natural	electricidad	Producción total (celulosa + papel)
1965		0.066	5.259	3.992	1.073	928962
1966		0.07	5.636	4.278	1.149	986223
1967		0.076	6.096	4.628	1.251	1063381
1968		0.082	6.567	4.985	1.352	1130265
1969		0.091	7.278	5.525	1.515	1274333
1970		0.1	7.978	6.057	1.671	1369561
1971		0.101	8.078	6.132	1.69	1382506
1972		0.109	8.73	6.627	1.827	1464290
1973		0.124	8.309	7.515	2.112	1625698
1974		0.139	11.155	8.468	2.575	1820451
1975		0.132	10.54	8.001	2.443	1734825
1976		0.148	11.842	8.99	2.758	1953927
1977		0.162	12.934	9.819	3.107	2125633
1978		0.176	14.086	10.693	3.306	2289492
1979		0.192	15.406	11.695	3.622	2448893
1980		0.211	16.874	12.809	3.963	2628172
1981		0.217	17.353	13.173	4.083	2692747
1982		0.221	17.675	13.418	4.159	2734592
1983		0.229	18.345	13.926	4.317	2821271
1984		0.249	19.928	15.128	4.695	3040321
1985		0.272	21.78	16.534	5.175	3268181
1986		0.274	21.979	16.685	4.537	3242768
1987		0.282	22.795	17.303	5.286	3355159
1988		0.282	22.795	17.303	5.589	3402768
1989		0.374	26.402	19.583	8.61	3535811
1990	0.247	0.517	31.08	14.266	9.269	3642767
1991	0.171	0.994	18.63	24.248	7.966	3601013
1992	0.231	4.16	14.915	19.432	9.82	3385010
1993	0.227	4.069	14.589	19.006	9.607	3107004
1994	0.235	4.212	15.098	19.673	9.942	3136482
1995	0.216	3.901	9.396	18.231	9.215	3467678
1996	0.227	4.121	13.945	19.259	9.734	3730566
1997	0.204	3.705	12.538	17.316	8.752	3947762
1998	0.229	4.167	14.101	18.597	9.4	4195610
1999	0.497	4.384	12.891	18.434	9.983	4340205
2000	1.13	1.086	14.972	15.917	8.798	4479067
2001	0.292	0.879	14.771	12.155	9.025	4260689

Intensidad energética por combustible (PJ/ton)				
gas licuado	diesel	combustóleo	gas natural	electricidad
	7.1047E-08	5.66116E-06	4.29727E-06	1.15505E-06
	7.09779E-08	5.71473E-06	4.33776E-06	1.16505E-06
	7.14702E-08	5.73266E-06	4.35216E-06	1.17644E-06
	7.25494E-08	5.81014E-06	4.41047E-06	1.19618E-06
	7.14099E-08	5.71122E-06	4.3356E-06	1.18886E-06
	7.30161E-08	5.82522E-06	4.42259E-06	1.2201E-06
	7.30557E-08	5.84301E-06	4.43542E-06	1.22242E-06
	7.44388E-08	5.96193E-06	4.52574E-06	1.2477E-06
	7.62749E-08	5.11104E-06	4.62263E-06	1.29913E-06
	7.63547E-08	6.1276E-06	4.65159E-06	1.41448E-06
	7.60884E-08	6.07554E-06	4.61199E-06	1.40821E-06
	7.57449E-08	6.06062E-06	4.60099E-06	1.41152E-06
	7.62126E-08	6.08478E-06	4.61933E-06	1.46168E-06
	7.68729E-08	6.15246E-06	4.67047E-06	1.44399E-06
	7.84028E-08	6.29101E-06	4.77563E-06	1.47904E-06
	8.02839E-08	6.42043E-06	4.87373E-06	1.50789E-06
	8.05869E-08	6.44435E-06	4.89203E-06	1.5163E-06
	8.08164E-08	6.46349E-06	4.90676E-06	1.52089E-06
	8.11691E-08	6.50239E-06	4.93607E-06	1.53016E-06
	8.18992E-08	6.55457E-06	4.97579E-06	1.54424E-06
	8.32267E-08	6.66426E-06	5.05908E-06	1.58345E-06
	8.44957E-08	6.77785E-06	5.1453E-06	1.39911E-06
	8.40497E-08	6.79401E-06	5.15713E-06	1.57548E-06
	8.28737E-08	6.69896E-06	5.08498E-06	1.64249E-06
	1.05775E-07	7.46703E-06	5.53847E-06	2.43508E-06
6.78056E-08	1.41925E-07	8.53198E-06	3.91625E-06	2.54449E-06
4.74866E-08	2.76033E-07	5.17354E-06	6.73366E-06	2.21216E-06
6.8242E-08	1.22895E-06	4.40619E-06	5.7406E-06	2.90103E-06
7.30607E-08	1.30962E-06	4.69552E-06	6.11715E-06	3.09205E-06
7.49247E-08	1.34291E-06	4.81367E-06	6.27231E-06	3.16979E-06
6.22895E-08	1.12496E-06	2.70959E-06	5.25741E-06	2.6574E-06
6.08487E-08	1.10466E-06	3.73804E-06	5.16249E-06	2.60926E-06
5.16748E-08	9.38506E-07	3.17598E-06	4.38628E-06	2.21695E-06
5.45809E-08	9.93181E-07	3.36089E-06	4.43249E-06	2.24044E-06
1.14511E-07	1.01009E-06	2.97014E-06	4.24726E-06	2.30012E-06
2.52285E-07	2.42461E-07	3.34266E-06	3.55364E-06	1.96425E-06
6.85335E-08	2.06305E-07	3.46681E-06	2.85282E-06	2.1182E-06

## APÉNDICE F

**Emisiones de gases contaminantes emitidos hacia la atmósfera por la industria de la celulosa y el papel e intensidades en emisiones de CO<sub>2</sub>.**

### Emisiones de CO<sub>2</sub> por combustible y emisiones totales por fuentes fósiles

Año	Gas Licuado	Diesel	Combustóleo	Gas Natural	Total de emisiones de CO <sub>2</sub> por fuentes fósiles
1965	0	4803.48	394214.64	243312.4	642330.52
1966	0	5094.6	422474.56	260744.1	688313.26
1967	0	5531.28	456956.16	282076.6	744564.04
1968	0	5967.96	492262.32	303835.75	802066.03
1969	0	6622.98	545558.88	336748.75	888930.61
1970	0	7278	598030.88	369174.15	974483.03
1971	0	7350.78	605526.88	373745.4	986623.06
1972	0	7933.02	654400.8	403915.65	1066249.47
1973	0	9024.72	622842.64	458039.25	1089906.61
1974	0	10116.42	836178.8	516124.6	1362419.82
1975	0	9606.96	790078.4	488209.5	1287894.86
1976	0	10771.44	887676.32	547940.5	1446388.26
1977	0	11790.36	969532.64	598468.05	1579791.05
1978	0	12809.28	1055886.56	651738.35	1720434.19
1979	0	13973.76	1154833.76	712810.25	1881617.77
1980	0	15356.58	1264875.04	780708.55	2060940.17
1981	0	15793.26	1300780.88	802894.35	2119468.49
1982	0	16084.38	1324918	817827.1	2158829.48
1983	0	16666.62	1375141.2	848789.7	2240597.52
1984	0	18122.22	1493802.88	922051.6	2433976.7
1985	0	19796.16	1632628.8	1007747.3	2660172.26
1986	0	19941.72	1647545.84	1016950.75	2684438.31
1987	0	20523.96	1708713.2	1054617.85	2783855.01
1988	0	20523.96	1708713.2	1054617.85	2783855.01
1989	0	27219.72	1979093.92	1193583.85	3199897.49
1990	15002.78	37627.26	2329756.8	869512.7	3251899.54
1991	10386.54	72343.32	1396504.8	1477915.6	2957150.26
1992	14030.94	302764.8	1118028.4	1184380.4	2619204.54
1993	13787.98	296141.82	1093591.44	1158415.7	2561936.94
1994	14273.9	306549.36	1131746.08	1199069.35	2651638.69
1995	13119.84	283914.78	704324.16	1111179.45	2112538.23
1996	13787.98	299926.38	1045317.2	1173836.05	2532867.61
1997	12390.96	269649.9	939848.48	1055410.2	2277299.54
1998	13909.46	303274.26	1057010.96	1133487.15	2507681.83

**continuación**

1998	13909.46	303274.26	1057010.96	1133487.15	2507681.83
1999	30187.78	319067.52	966309.36	1123552.3	2439116.96
2000	68636.2	79039.08	1122301.12	970141.15	2240117.55
2001	17736.08	63973.62	1107234.16	740847.25	1929791.11

**Emisiones de CO por combustible y emisiones totales de CO por fuentes fósiles (ton)**

<b>Año</b>	<b>Gas Licuado</b>	<b>Diesel</b>	<b>Combustóleo</b>	<b>Gas Natural</b>	<b>Total de emisiones de CO por fuentes fósiles (ton)</b>
1965	0	0.96	149.88	2.91	153.76
1966	0	1.02	160.63	3.12	164.77
1967	0	1.11	173.74	3.39	178.22
1968	0	1.19	187.16	3.64	191.99
1969	0	1.32	207.42	4.03	212.78
1970	0	1.46	227.37	4.42	233.25
1971	0	1.47	230.22	4.48	236.17
1972	0	1.59	248.81	4.83	255.23
1973	0	1.80	236.81	5.49	244.10
1974	0	2.02	317.92	6.18	326.12
1975	0	1.92	300.39	5.85	308.16
1976	0	2.15	337.50	6.56	346.21
1977	0	2.36	368.62	7.17	378.15
1978	0	2.56	401.45	7.81	411.82
1979	0	2.80	439.07	8.54	450.40
1980	0	3.07	480.91	9.35	493.33
1981	0	3.16	494.56	9.62	507.34
1982	0	3.22	503.74	9.80	516.75
1983	0	3.33	522.83	10.16	536.33
1984	0	3.62	567.95	11.04	582.62
1985	0	3.96	620.73	12.07	636.76
1986	0	3.99	626.40	12.18	642.57
1987	0	4.10	649.66	12.63	666.39
1988	0	4.10	649.66	12.63	666.39
1989	0	5.45	752.46	14.30	772.19
1990	0.45	7.53	885.78	10.41	904.17
1991	0.31	14.47	531	17.70	563.44
1992	0.42	60.57	425.08	14.19	500.25
1993	0.41	59.24	415.79	13.87	489.32
1994	0.43	61.33	430.29	14.36	506.41
1995	0.39	56.80	267.79	13.31	338.29
1996	0.41	60	397.43	14.06	471.91
1997	0.37	53.94	357.33	12.64	424.29
1998	0.42	60.67	401.88	13.58	476.54
1999	0.90	63.83	367.39	13.46	445.59
2000	2.06	15.81	426.70	11.62	456.19
2001	0.53	12.80	420.97	8.87	443.18

**Emisiones de NOx por combustible y emisiones totales de NOx por fuentes fósiles**

<b>Año</b>	<b>Gas Licuado</b>	<b>Diesel</b>	<b>Combustóleo</b>	<b>Gas Natural</b>	<b>TOTAL DE NOx (TON)</b>
1965	0	2.3496	122.5347	46.3072	171.1915
1966	0	2.492	131.3188	49.6248	183.4356
1967	0	2.7056	142.0368	53.6848	198.4272
1968	0	2.9192	153.0111	57.826	213.7563
1969	0	3.2396	169.5774	64.09	236.907
1970	0	3.56	185.8874	70.2612	259.7086
1971	0	3.5956	188.2174	71.1312	262.9442
1972	0	3.8804	203.409	76.8732	284.1626
1973	0	4.4144	193.5997	87.174	285.1881
1974	0	4.9484	259.9115	98.2288	363.0887
1975	0	4.6992	245.582	92.916	343.1972
1976	0	5.2688	275.9186	104.284	385.4714
1977	0	5.7672	301.3622	113.9004	421.0298
1978	0	6.2656	328.2038	124.0388	458.5082
1979	0	6.8352	358.9598	135.662	501.457
1980	0	7.5116	393.1642	148.5844	549.2602
1981	0	7.7252	404.3249	152.8068	564.8569
1982	0	7.8676	411.8275	155.6488	575.3439
1983	0	8.1524	427.4385	161.5416	597.1325
1984	0	8.8644	464.3224	175.4848	648.6716
1985	0	9.6832	507.474	191.7944	708.9516
1986	0	9.7544	512.1107	193.546	715.4111
1987	0	10.0392	531.1235	200.7148	741.8775
1988	0	10.0392	531.1235	200.7148	741.8775
1989	0	13.3144	615.1666	227.1628	855.6438
1990	2.5688	18.4052	724.164	165.4856	910.6236
1991	1.7784	35.3864	434.079	281.2768	752.5206
1992	2.4024	148.096	347.5195	225.4112	723.4291
1993	2.3608	144.8564	339.9237	220.4696	707.6105
1994	2.444	149.9472	351.7834	228.2068	732.3814
1995	2.2464	138.8756	218.9268	211.4796	571.5284
1996	2.3608	146.7076	324.9185	223.4044	697.3913
1997	2.1216	131.898	292.1354	200.8656	627.0206
1998	2.3816	148.3452	328.5533	215.7252	695.0053
1999	5.1688	156.0704	300.3603	213.8344	675.4339
2000	11.752	38.6616	348.8476	184.6372	583.8984
2001	3.0368	31.2924	344.1643	140.998	519.4915

## Intensidades en emisiones de CO<sub>2</sub> globales

Año	Emisiones totales de CO <sub>2</sub> (incluyendo emisiones eléctricas)	Producción total (celulosa + papel)	Intensidad global en emisiones
1965	755519.99	928962	0.81329483
1966	800022.678	986223	0.81119856
1967	867339.442	1063381	0.81564316
1968	940446.087	1130265	0.83205805
1969	1052939.8	1274333	0.82626739
1970	1162715.79	1369561	0.8489697
1971	1201636.21	1382506	0.86917251
1972	1305954.09	1464290	0.89186847
1973	1375044.38	1625698	0.84581785
1974	1723655.64	1820451	0.94682891
1975	1680068.6	1734825	0.96843693
1976	1873541.15	1953927	0.95885934
1977	2038835.87	2125633	0.95916645
1978	2268137.78	2289492	0.99067294
1979	2462471.5	2448893	1.00554475
1980	2734356.61	2628172	1.04040246
1981	2727818.8	2692747	1.01302454
1982	2807960.9	2734592	1.02682993
1983	2938972.11	2821271	1.04171918
1984	3186101.08	3040321	1.04794891
1985	3461185.45	3268181	1.05905562
1986	3440577.72	3242768	1.06100027
1987	3685835.1	3355159	1.0985575
1988	3709609.22	3402768	1.09017401
1989	4598220.27	3535811	1.30047117
1990	4731854.08	3642767	1.29897248
1991	4228429.57	3601013	1.17423335
1992	4108964.1	3385010	1.21387059
1993	4010795.22	3107004	1.29088833
1994	4301784.86	3136482	1.37153182
1995	3478595.15	3467678	1.00314826
1996	3965929.78	3730566	1.06309063
1997	3489634.02	3947762	0.88395248
1998	4017337.55	4195610	0.95750977
1999	3962011.05	4340205	0.91286265
2000	3621823.12	4479067	0.80861106
2001	3373413.89	4260689	0.79175314

- Ver apéndice G para la obtención de emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo eléctrico

### Intensidades en emisiones de CO<sub>2</sub> por combustible

Año	Gas Licuado	Diesel	Combustóleo	Gas Natural	Electricidad
1965	0	0.005	0.424	0.262	0.122
1966	0	0.005	0.428	0.264	0.113
1967	0	0.005	0.430	0.265	0.115
1968	0	0.005	0.436	0.269	0.122
1969	0	0.005	0.428	0.264	0.129
1970	0	0.005	0.437	0.270	0.137
1971	0	0.005	0.438	0.270	0.156
1972	0	0.005	0.447	0.276	0.164
1973	0	0.006	0.383	0.282	0.175
1974	0	0.006	0.459	0.284	0.198
1975	0	0.006	0.455	0.281	0.226
1976	0	0.006	0.454	0.280	0.219
1977	0	0.006	0.456	0.282	0.216
1978	0	0.006	0.461	0.285	0.239
1979	0	0.006	0.472	0.291	0.237
1980	0	0.006	0.481	0.297	0.256
1981	0	0.006	0.483	0.298	0.226
1982	0	0.006	0.485	0.299	0.237
1983	0	0.006	0.487	0.301	0.248
1984	0	0.006	0.491	0.303	0.247
1985	0	0.006	0.500	0.308	0.245
1986	0	0.006	0.508	0.314	0.233
1987	0	0.006	0.509	0.314	0.269
1988	0	0.006	0.502	0.310	0.272
1989	0	0.008	0.560	0.338	0.395
1990	0.004	0.010	0.640	0.239	0.406
1991	0.003	0.020	0.388	0.410	0.353
1992	0.004	0.089	0.330	0.350	0.440
1993	0.004	0.095	0.352	0.373	0.466
1994	0.005	0.098	0.361	0.382	0.526
1995	0.004	0.082	0.203	0.320	0.394
1996	0.004	0.080	0.280	0.315	0.384
1997	0.003	0.068	0.238	0.267	0.307
1998	0.003	0.072	0.252	0.270	0.360
1999	0.007	0.074	0.223	0.259	0.351
2000	0.015	0.018	0.251	0.217	0.308
2001	0.004	0.015	0.260	0.174	0.339

## APÉNDICE G

### OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE EMISIÓN ELÉCTRICO

Para obtener el índice de emisión de CO<sub>2</sub> eléctrico se requiere el consumo de combustibles para generación eléctrica del sistema eléctrico nacional [20,21] y de los índices de emisión correspondientes a cada combustible [ 23 ]. Estos datos se presentan a continuación.

#### Consumo de combustible para generación eléctrica

Año	Gas natural	Combustóleo	Diesel	Carbón
1965	48.525	31.087	3.948	0.164
1966	48.952	31.171	4.413	0.184
1967	52.28	37.338	4.116	0.62
1968	52.812	49.923	3.986	1.499
1969	58.866	61.626	8.474	1.976
1970	58.515	80.7132	10.37	2.21
1971	69.672	107.982	7.817	1.629
1972	66.696	130.511	11.765	2.269
1973	67.265	147.752	17.764	2.102
1974	62.622	176.323	27.093	2.269
1975	88.337	192.769	49.81	1.976
1976	71.866	227.419	44.97	2.211
1977	69.103	254.562	35.102	2.211
1978	91.419	301.969	46.557	0
1979	128.007	297.355	47.177	0
1980	118.8	363.804	45.825	0
1981	107.358	355.455	44.238	0.0146
1982	118.248	407.028	33.356	11.962
1983	97.452	463.332	12.615	23.861
1984	78.138	497.957	16.27	30.903
1985	81.932	515.96	10.693	37.292
1986	106.684	551.527	8.943	61.5
1987	115.112	604.469	13.172	70.418
1988	107.073	634.667	7.67	77.15
1989	113.043	668.213	12.016	78.126
1990	143.699	659.375	15.6078	76.045
1991	168.887	665.752	17.195	78.469
1992	156.616	656.444	12.305	81.387
1993	153.367	665.613	11.727	103.301
1994	180.063	794.1	13.298	128.262
1995	185.38	696.544	10.445	140.122
1996	191.731	718.913	9.534	170.54
1997	191.371	718.913	9.534	170.54
1998	246.208	903.743	19.361	176.112



Continuación

1999	272.971	887.531	17.54	178.69
2000	333.383	954.587	25.147	183.055
2001	404.794	915.191	18.697	226.992

**Indices de emisió de CO<sub>2</sub> para los diferentes combustibles**

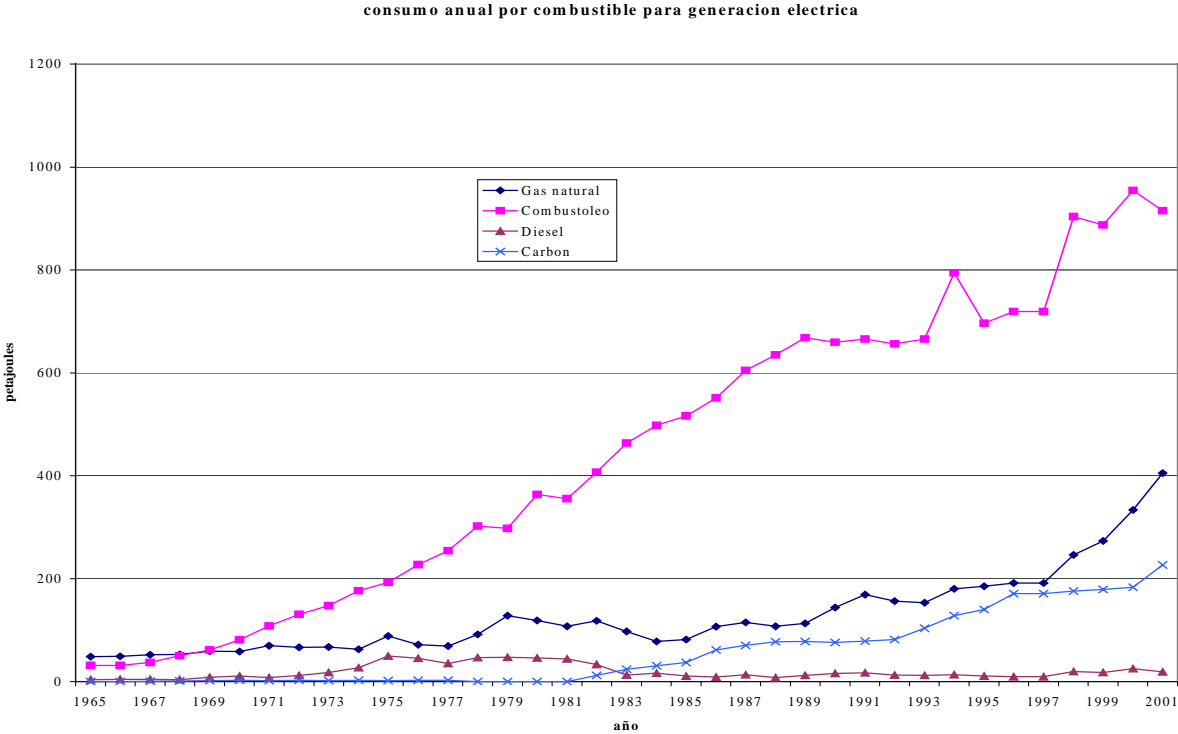
<b>combustible</b>	<b>ton CO<sub>2</sub>/pj</b>
combustoleo	74960
gas natural	60950
Diesel	72780
gas licuado	60740
carbón	83450

Una vez con estos datos, se obtienen las emisiones de CO<sub>2</sub> anual para cada combustible y finalmente estos resultados se dividen entre la generación eléctrica anual [ 20, 21] , para obtener así el índice de emisión de CO<sub>2</sub> eléctrico para cada año.

## Índice de emisión eléctrico anual

Emisiones de CO <sub>2</sub> por combustible (PJ/Ton)						Producción eléctrica anual (PJ)	Índice de emisión eléctrico (ton CO <sub>2</sub> /PJ)
Año	Gas natural	Combustóleo	Diesel	Carbón	Total		
1965	2957599	2330282	287335	13686	5588902	52.98	105488.79
1966	2983624	2336578	321178	15355	5656736	58.18	97223.17
1967	3186466	2798856	299562	51739	6336624	64.57	98141.81
1968	3218891	3742228	290101	125092	7376312	72.07	102352.11
1969	3587883	4619484	616738	164897	8989003	83.03	108256.89
1970	3566489	6050261	754729	184425	10555904	93.71	112646.77
1971	4246508	8094331	568921	135940	13045700	102.54	127226.72
1972	4065121	9783105	856257	189348	14893830	113.52	131201.21
1973	4099802	11075490	1292864	175412	16643568	123.28	135008.42
1974	3816811	13217172	1971829	189348	19195160	136.83	140285.76
1975	5384140	14449964	3625172	164897	23624173	147.16	160529.57
1976	4380233	17047328	3272917	184508	24884986	160.68	154877.77
1977	4211828	19081968	2554724	184508	26033027	176.2	147745.35
1978	5571988	22635596	3388418	0	31596003	190.72	165669.57
1979	7802027	22289731	3433542	0	33525299	209.05	160368.23
1980	7240860	27270748	3335144	0	37846751	222.73	169925.92
1981	6543470	26644907	3219642	1218	36409237	244.37	148995.91
1982	7207216	30510819	2427650	998229	41143913	263.61	156078.73
1983	5939699	34731367	918120	1991200	43580386	269.39	161773.13
1984	4762511	37326857	1184131	2578855	45852354	286.23	160196.89
1985	4993755	38676362	778237	3112017	47560371	307.27	154785.16
1986	6502389	41342464	650872	5132175	53627900	321.78	166660.66
1987	7016076	45310996	958658.	5876382	59162113	346.72	170635.66
1988	6526099	47574638	558223	6438168	61097128	368.86	165638.61
1989	6889971	50089247	874524	6519615	64373356	396.37	162406.83
1990	8758454	49426750	1135936	6345955	65667095	411.28	159667.12
1991	10293663	49904770	1251452	6548238	67998123	426.09	159588.16
1992	9545745	49207042	895558	6791745	66440090	437.95	151706.68
1993	9347719	49894351	853491	8620468	68716029	455.64	150812.77
1994	10974840	59525736	967828	10703464	82171868	495.08	165977.29
1995	11298911	52212938	760187	11693181	75965217	512.44	148242.75
1996	11686005	53889719	693885	14231563	80501170	546.8	147222.33
1997	11664063	53889719	693885	14231563	80479228	580.99	138520.85
1998	15006378	67744575	1409094	14696546	98856593	615.54	160601.67
1999	16637583	66529324	1276561	14911681	99355148	651.30	152548.742
2000	20319694	71555841	1830199	15275940	108981674	693.94	157047.69
2001	24672194	68602717	1360768	18942482	113578162	710.05	159958.202

# Consumo de combustibles para generación eléctrica



Fuente propia con datos del balance nacional de energía 1996 y 2001

## APÉNDICE H

### Análisis de la variación en el consumo de energía

#### METODOLOGÍA I

##### Datos requeridos para la aplicación de la metodología

Año	Producción de celulosa (ton)	Producción de papel (ton)	Producción total (ton)	Consumo de combustibles fósiles (PJ)	Consumo de electricidad (PJ)	Consumo de energía para generación eléctrica (considerando 35% eficiencia) (PJ)	Consumo total de energía (PJ)
1965	337926	591036	928962	9.32	1.07	3.07	12.38
1966	352800	633423	986223	9.98	1.15	3.28	13.27
1967	378263	685118	1063381	10.80	1.25	3.57	14.37
1968	392215	738050	1130265	11.63	1.35	3.86	15.50
1969	456353	817980	1274333	12.89	1.52	4.33	17.22
1970	472874	896687	1369561	14.14	1.67	4.77	18.91
1971	474685	907821	1382506	14.31	1.69	4.83	19.14
1972	483163	981127	1464290	15.47	1.83	5.22	20.69
1973	513040	1112658	1625698	15.95	2.11	6.03	21.98
1974	566763	1253688	1820451	19.76	2.58	7.36	27.12
1975	550222	1184603	1734825	18.68	2.44	6.98	25.66
1976	623005	1330922	1953927	20.98	2.76	7.88	28.86
1977	671977	1453656	2125633	22.92	3.11	8.88	31.79
1978	706408	1583084	2289492	24.96	3.31	9.45	34.40
1979	717468	1731425	2448893	27.29	3.62	10.35	37.64
1980	731769	1896403	2628172	29.89	3.96	11.32	41.22
1981	742483	1950264	2692747	30.74	4.08	11.67	42.41
1982	748119	1986473	2734592	31.31	4.16	11.88	43.20
1983	759480	2061791	2821271	32.50	4.32	12.33	44.83
1984	800642	2239679	3040321	35.31	4.70	13.41	48.72
1985	820416	2447765	3268181	38.59	5.18	14.79	53.37
1986	772539	2470229	3242768	38.94	4.54	12.96	51.90
1987	780535	2574624	3355159	40.38	5.29	15.10	55.48
1988	809217	2593551	3402768	40.38	5.59	15.97	56.35
1989	799043	2736768	3535811	46.36	8.61	24.60	70.96
1990	771845	2870922	3642767	46.11	9.27	26.48	72.59
1991	705111	2895902	3601013	44.04	7.97	22.76	66.80
1992	559783	2825227	3385010	38.74	9.82	28.06	66.80
1993	343571	2763433	3107004	37.89	9.61	27.45	65.34
1994	276320	2860162	3136482	39.22	9.94	28.41	67.62
1995	420525	3047153	3467678	31.74	9.22	26.33	58.07
1996	511307	3219259	3730566	37.55	9.73	27.81	65.36
1997	456261	3491501	3947762	33.76	8.75	25.01	58.77
1998	526244	3669366	4195610	37.09	9.40	26.86	63.95
1999	544126	3796079	4340205	36.21	9.98	28.52	64.73
2000	582065	3897002	4479067	33.11	8.80	25.14	58.24
2001	384946	3875743	4260689	28.10	9.03	25.79	53.88

De acuerdo con los datos presentados en la tabla anterior y la metodología expuesta en el capítulo 2 de este trabajo , se presentan a continuación los valores obtenidos para el cálculo de la actividad estructura y eficiencia.

**Valores obtenidos para la actividad estructura y eficiencia**

<b>Año</b>	<b>Actividad (ton)</b>	<b>Estructura</b>	<b>Eficiencia (PJ/ton)</b>
1965	928962	0.572	1.33E-05
1966	986223	0.557	1.35E-05
1967	1063381	0.552	1.35E-05
1968	1130265	0.531	1.37E-05
1969	1274333	0.558	1.35E-05
1970	1369561	0.527	1.38E-05
1971	1382506	0.523	1.38E-05
1972	1464290	0.492	1.41E-05
1973	1625698	0.461	1.35E-05
1974	1820451	0.452	1.49E-05
1975	1734825	0.464	1.48E-05
1976	1953927	0.468	1.48E-05
1977	2125633	0.462	1.50E-05
1978	2289492	0.446	1.50E-05
1979	2448893	0.414	1.54E-05
1980	2628172	0.386	1.57E-05
1981	2692747	0.381	1.57E-05
1982	2734592	0.377	1.58E-05
1983	2821271	0.368	1.59E-05
1984	3040321	0.357	1.60E-05
1985	3268181	0.335	1.63E-05
1986	3242768	0.313	1.60E-05
1987	3355159	0.303	1.65E-05
1988	3402768	0.312	1.66E-05
1989	3535811	0.292	2.01E-05
1990	3642767	0.269	1.99E-05
1991	3601013	0.243	1.86E-05
1992	3385010	0.198	1.97E-05
1993	3107004	0.124	2.10E-05
1994	3136482	0.097	2.16E-05
1995	3467678	0.138	1.67E-05
1996	3730566	0.159	1.75E-05
1997	3947762	0.131	1.49E-05
1998	4195610	0.143	1.52E-05
1999	4340205	0.143	1.49E-05
2000	4479067	0.149	1.30E-05
2001	4260689	0.099	1.26E-05

Con los valores de los factores físicos presentados, se obtienen las variaciones del consumo de energía para cada uno de los periodos considerados en este trabajo.

**Variaciones del consumo de energía para el primer período (1965-1975) considerando como año base a 1965**

Año	Variación con respecto a la actividad	Variación con respecto a la estructura	Variación con respecto a la eficiencia
1966	0.06	-0.03	0.01
1967	0.14	-0.03	0.01
1968	0.22	-0.07	0.03
1969	0.37	-0.02	0.01
1970	0.47	-0.08	0.04
1971	0.49	-0.09	0.04
1972	0.58	-0.14	0.06
1973	0.75	-0.19	0.01
1974	0.96	-0.21	0.12
1975	0.87	-0.19	0.11
<b>ΔE</b>	<b>4.91</b>	<b>-1.05</b>	<b>0.44</b>

**Variaciones del consumo de energía para el segundo período (1975-1985) considerando como año base a 1975**

	Variación con respecto a la actividad	Variación con respecto a la estructura	Variación con respecto a la eficiencia
1976	0.13	0.01	0.00
1977	0.23	0.00	0.01
1978	0.32	-0.04	0.02
1979	0.41	-0.11	0.04
1980	0.51	-0.17	0.06
1981	0.55	-0.18	0.06
1982	0.58	-0.19	0.07
1983	0.63	-0.21	0.07
1984	0.75	-0.23	0.08
1985	0.88	-0.28	0.10
<b>ΔE</b>	<b>4.99</b>	<b>-1.40</b>	<b>0.52</b>

**Variaciones del consumo de energía para el período 3- a (1985-1990)  
considerando como año base a 1985**

<b>Año</b>	<b>Variación con respecto a la actividad</b>	<b>Variación con respecto a la estructura</b>	<b>Variación con respecto a la eficiencia</b>
1986	-0.01	-0.07	-0.02
1987	0.03	-0.10	0.01
1988	0.04	-0.07	0.01
1989	0.08	-0.13	0.23
1990	0.11	-0.20	0.22
<b>ΔE</b>	<b>0.26</b>	<b>-0.56</b>	<b>0.46</b>

**Variaciones del consumo de energía para el período 3- b (1990-1995)  
considerando como año base a 1990**

<b>Año</b>	<b>Variación con respecto a la actividad</b>	<b>Variación con respecto a la estructura</b>	<b>Variación con respecto a la eficiencia</b>
1991	-0.01	-0.09	-0.07
1992	-0.07	-0.26	-0.01
1993	-0.15	-0.54	0.06
1994	-0.14	-0.64	0.08
1995	-0.05	-0.49	-0.16
<b>ΔE</b>	<b>-0.42</b>	<b>-2.02</b>	<b>-0.10</b>

**Variaciones del consumo de energía para el cuarto periodo (1995-2001)  
considerando como año base a 1995**

<b>Año</b>	<b>Variación con respecto a la actividad</b>	<b>Variación con respecto a la estructura</b>	<b>Variación con respecto a la eficiencia</b>
1996	0.08	0.15	0.05
1997	0.14	-0.05	-0.11
1998	0.21	0.04	-0.09
1999	0.25	0.04	-0.11
2000	0.29	0.08	-0.22
2001	0.23	-0.28	-0.24
<b>ΔE</b>	<b>1.20</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.73</b>

## METODOLOGÍA II

La tabla que se muestra a continuación nos proporciona los valores obtenidos para el índice de producción física anual, calculados de acuerdo con la metodología correspondiente expuesta en el capítulo 2 de este trabajo.

### Índice de producción física ( PPI )

Año	PPI (PJ)	Año	PPI (PJ)
1965	10.84	1984	34.12
1966	11.44	1985	36.59
1967	12.33	1986	36.15
1968	13.13	1987	37.28
1969	14.88	1988	37.83
1970	15.49	1989	39.01
1971	15.61	1990	40.00
1972	16.54	1991	39.18
1973	18.21	1992	36.34
1974	20.36	1993	32.67
1975	19.54	1994	32.32
1976	22.12	1995	36.61
1977	24.06	1996	39.55
1978	25.94	1997	41.84
1979	27.58	1998	44.40
1980	29.44	1999	45.71
1981	30.21	2000	47.09
1982	30.72	2001	43.73
1983	31.57		

Con estos valores y los datos de producción y consumo de energía, se aplica la metodología correspondiente para cada uno de los periodos considerados y se obtienen los siguientes resultado

### Variación del consumo de energía para el primer período (1965-1975)

Año	Variación con respecto a la actividad	Variación con respecto a la estructura	Variación con respecto a la eficiencia
1966/1965	0.06	-6.58E-03	-0.15
1967/1966	0.08	-6.03E-06	0.00
1968/1967	0.06	1.86E-03	0.01
1969/1968	0.13	5.36E-03	-0.02
1970/1969	0.07	-3.15E-02	0.05
1971/1970	0.01	-1.92E-03	0.00
1972/1971	0.06	7.19E-04	0.02
1973/1972	0.11	-8.28E-03	-0.05
1974/1973	0.12	-1.97E-03	0.11
1975/1974	-0.05	7.55E-03	-0.02
$\Delta E$	0.66	-0.03	-0.03



**Variación del consumo de energía para el segundo período (1975-1985)**

Año	Variación con respecto a la actividad	Variación con respecto a la estructura	Variación con respecto a la eficiencia
1976/1975	0.13	5.03E-03	-0.01
1977/1976	0.09	-3.01E-04	0.01
1978/1977	0.08	8.40E-04	0.01
1979/1978	0.07	-5.82E-03	0.03
1980/1979	0.07	-5.50E-03	0.03
1981/1980	0.02	1.46E-03	0.00
1982/1981	0.02	1.59E-03	0.00
1983/1982	0.03	-3.91E-03	0.01
1984/1983	0.08	2.87E-03	0.01
1985/1984	0.07	-2.48E-03	0.02
<b>ΔE</b>	0.66	-0.01	0.10

**Variación del consumo de energía para el período 3-a (1985-1990)**

Año	Variación con respecto a la actividad	Variación con respecto a la estructura	Variación con respecto a la eficiencia
1986/1985	-0.01	-4.37E-03	0.01
1987/1986	0.03	-3.14E-03	0.02
1988/1987	0.01	5.82E-04	-0.01
1989/1988	0.04	-7.61E-03	0.16
1990/1989	0.03	-4.90E-03	-0.02
<b>ΔE</b>	0.11	-0.02	0.16

**Variación del consumo de energía para el período 3-b (1990-1995)**

Año	Variación con respecto a la actividad	Variación con respecto a la estructura	Variación con respecto a la eficiencia
1991/1990	-0.01	-8.98E-03	-0.06
1992/1991	-0.06	-1.33E-02	0.08
1993/1992	-0.08	-2.06E-02	0.09
1994/1993	0.01	-1.99E-02	0.05
1995/1994	0.11	2.45E-02	-0.24
<b>ΔE</b>	-0.04	-0.04	-0.09

**Variación del consumo de energía para el cuarto período (1995-2001)**

	<b>Variación con respecto a la actividad</b>	<b>Variación con respecto a la estructura</b>	<b>Variación con respecto a la eficiencia</b>
1996/1995	0.08	0.00	0.07
1997/1996	0.06	0.00	-0.15
1998/1995	0.06	0.00	0.03
1999/1998	0.03	0.00	-0.04
2000/1999	0.03	0.00	-0.13
2001/2000	-0.05	-0.02	0.00
<b><math>\Delta E</math></b>	0.21	-0.03	-0.22

## APÉNDICE I

### ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

#### METODOLOGÍA I

Para el análisis de la variación de emisiones de CO<sub>2</sub>, se requieren los datos de consumo de energía, producción total de celulosa y papel y emisiones tanto totales como por combustibles utilizados. Estos datos los presentamos en los apéndices F y H, por lo que a continuación presentamos los resultados obtenidos de aplicar la metodología I para la variación en emisiones

**Variación en emisiones de CO<sub>2</sub> para el primer período (1965-1975 ) tomando como año base a 1965**

Año	Variación con respecto a la actividad	Variación con respecto a la estructura	Variación con respecto a la eficiencia	Variación con respecto a la mezcla final de combustible	Variación con respecto a la mezcla de combustible primario
1966	0.062	-0.026	0.009	0.000	-0.026
1967	0.145	-0.034	0.014	0.000	-0.023
1968	0.217	-0.071	0.029	0.001	-0.010
1969	0.372	-0.024	0.014	0.002	0.009
1970	0.474	-0.078	0.036	0.002	0.023
1971	0.488	-0.085	0.039	0.002	0.069
1972	0.576	-0.139	0.060	0.002	0.082
1973	0.750	-0.194	0.014	0.007	0.094
1974	0.960	-0.209	0.118	0.011	0.110
1975	0.867	-0.188	0.110	0.011	0.175
<b>ΔC</b>	<b>4.911</b>	<b>-1.047</b>	<b>0.442</b>	<b>0.039</b>	<b>0.175</b>

**Variación en emisiones de CO<sub>2</sub> para el segundo período (1975-1985 )  
tomando como año base a 1975**

<b>Año</b>	<b>Variación con respecto a la actividad</b>	<b>Variación con respecto a la estructura</b>	<b>Variación con respecto a la eficiencia</b>	<b>Variación con respecto a la mezcla final de combustible</b>	<b>Variación con respecto a la mezcla de combustible primario</b>
1976	0.126	0.008	-0.001	0.001	-0.017
1977	0.225	-0.005	0.011	0.007	-0.037
1978	0.320	-0.039	0.016	0.002	0.015
1979	0.412	-0.108	0.039	0.003	-0.001
1980	0.515	-0.169	0.060	0.003	0.027
1981	0.552	-0.180	0.065	0.003	-0.034
1982	0.576	-0.189	0.068	0.003	-0.013
1983	0.626	-0.207	0.074	0.003	0.003
1984	0.753	-0.230	0.083	0.003	-0.001
1985	0.884	-0.278	0.104	0.005	-0.017
<b>ΔC</b>	4.989	-1.399	0.519	0.032	-0.074

**Variación en emisiones de CO<sub>2</sub> para el período 3-a (1985-1990 ) tomando como año base a 1985**

<b>Año</b>	<b>Variación con respecto a la actividad</b>	<b>Variación con respecto a la estructura</b>	<b>Variación con respecto a la eficiencia</b>	<b>Variación con respecto a la mezcla final de combustible</b>	<b>Variación con respecto a la mezcla de combustible primario</b>
1986	-0.008	-0.067	-0.020	-0.025	0.035
1987	0.027	-0.095	0.013	-0.004	0.047
1988	0.041	-0.069	0.014	0.006	0.032
1989	0.082	-0.129	0.229	0.065	0.023
1990	0.115	-0.198	0.220	0.090	0.015
<b>ΔC</b>	0.257	-0.558	0.456	0.131	0.153

**Variación en emisiones de CO<sub>2</sub> para el primer período (1990-1995 ) tomando Como año base a 1990**

<b>Año</b>	<b>Variación con respecto a la actividad</b>	<b>Variación con respecto a la estructura</b>	<b>Variación con respecto a la eficiencia</b>	<b>Variación con respecto a la mezcla final de combustible</b>	<b>Variación con respecto a la mezcla de combustible primario</b>
1991	-0.011	-0.094	-0.069	-0.042	-0.002
1992	-0.071	-0.263	-0.010	0.031	-0.030
1993	-0.147	-0.538	0.055	0.031	-0.033
1994	-0.139	-0.641	0.082	0.031	0.020
1995	-0.048	-0.487	-0.160	0.056	-0.042
<b>ΔC</b>	<b>-0.416</b>	<b>-2.022</b>	<b>-0.101</b>	<b>0.107</b>	<b>-0.088</b>

**Variación en emisiones de CO<sub>2</sub> para el primer período (1995-2001 ) tomando como año base a 1965**

<b>Año</b>	<b>Variación con respecto a la actividad</b>	<b>Variación con respecto a la estructura</b>	<b>Variación con respecto a la eficiencia</b>	<b>Variación con respecto a la mezcla final de combustible</b>	<b>Variación con respecto a la mezcla de combustible primario</b>
1996	0.076	0.151	0.046	-0.017	-0.007
1997	0.138	-0.053	-0.111	-0.017	-0.721
1998	0.210	0.039	-0.090	-0.020	-0.676
1999	0.252	0.039	-0.109	-0.006	-0.663
2000	0.292	0.082	-0.224	-0.011	-0.668
2001	0.229	-0.280	-0.245	0.031	-0.601
<b>ΔC</b>	<b>1.196</b>	<b>-0.022</b>	<b>-0.733</b>	<b>-0.040</b>	<b>-3.336</b>

## METODOLOGÍA II

A continuación se muestran los resultados para la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se obtuvieron al aplicar la metodología correspondiente. Los valores del índice de producción física ( PPI) utilizados en este caso, son los mismos que se presentaron en el apéndice H.

### Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el primer periodo (1965- 1975)

Año	Variaciones con respecto a la actividad	Variaciones con respecto a la estructura	Variaciones con respecto a la eficiencia	Variaciones con respecto al cambio de combustible
1966/1965	0.062	-0.007	0.016	-0.026
1967/1966	0.078	0.000	0.005	0.033
1968/1967	0.063	0.002	0.012	0.095
1969/1968	0.127	0.005	-0.020	-0.020
1970/1969	0.075	-0.032	0.055	0.265
1971/1970	0.009	-0.002	0.005	0.146
1972/1971	0.059	0.001	0.020	0.109
1973/1972	0.110	-0.008	-0.035	0.008
1974/1973	0.120	-0.002	0.104	0.346
1975/1974	-0.047	0.008	-0.014	0.089
<b>ΔC</b>	<b>0.657</b>	<b>-0.035</b>	<b>0.147</b>	<b>1.045</b>

### Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el segundo periodo (1975- 1985)

Año	Variaciones con respecto a la actividad	Variaciones con respecto a la estructura	Variaciones con respecto a la eficiencia	Variaciones con respecto al cambio de combustible
1976/1975	0.126	0.005	-0.006	-0.063
1977/1976	0.088	0.000	0.013	0.003
1978/1977	0.077	0.001	0.004	0.135
1979/1978	0.070	-0.006	0.029	0.080
1980/1979	0.073	-0.005	0.026	0.168
1981/1980	0.025	0.001	0.003	-0.113
1982/1981	0.016	0.002	0.001	0.053
1983/1982	0.032	-0.004	0.010	0.075
1984/1983	0.078	0.003	0.005	0.013
1985/1984	0.075	-0.002	0.022	0.050
<b>ΔC</b>	<b>0.658</b>	<b>-0.006</b>	<b>0.106</b>	<b>0.402</b>

### Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el periodo 3-a (1985- 1990)

Año	Variaciones con respecto a la actividad	Variaciones con respecto a la estructura	Variaciones con respecto a la eficiencia	Variaciones con respecto al cambio de combustible
1986/1985	-0.008	-0.004	-0.016	0.018
1987/1986	0.035	-0.003	0.036	0.165
1988/1987	0.014	0.001	0.001	-0.032
1989/1988	0.039	-0.008	0.221	0.972
1990/1989	0.030	-0.005	-0.002	0.240
<b>ΔC</b>	<b>0.110</b>	<b>-0.019</b>	<b>0.241</b>	<b>1.363</b>

### Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el p periodo 3-b (1990- 1995)

Año	Variaciones con respecto a la actividad	Variaciones con respecto a la estructura	Variaciones con respecto a la eficiencia	Variaciones con respecto al cambio de combustible
1991/1990	-0.011	-0.009	-0.061	0.893
1992/1991	-0.060	-0.013	0.078	3.959
1993/1992	-0.082	-0.021	0.088	0.439
1994/1993	0.009	-0.020	0.046	0.336
1995/1994	0.106	0.024	-0.242	-1.272
<b>ΔC</b>	<b>-0.038</b>	<b>-0.038</b>	<b>-0.090</b>	<b>4.355</b>

### Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el cuarto periodo (2000- 2001)

Año	Variaciones con respecto a la actividad	Variaciones con respecto a la estructura	Variaciones con respecto a la eficiencia	Variaciones con respecto al cambio de combustible
1996/1995	0.076	0.004	0.042	0.273
1997/1996	0.058	0.000	-0.150	-0.801
1998/1995	0.063	-0.001	0.025	0.363
1999/1998	0.034	-0.005	-0.017	0.961
2000/1999	0.032	-0.002	-0.127	0.294
2001/2000	-0.049	-0.024	-0.004	-0.840
<b>ΔC</b>	<b>0.215</b>	<b>-0.028</b>	<b>-0.230</b>	<b>0.249</b>