

**FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES
FLACSO – ECUADOR**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA ECONOMÍA ECOLÓGICA
CONVOCATORIA 2007-2009**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA CON
MENCION EN ECONOMÍA ECOLÓGICA**

**FACTORES DE CRECIMIENTO ECONÓMICO Y LA DEPREDACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA: CASO ECUADOR 1970-2007.**

ZURITA AGUILAR DENIS FABRICIO

NOVIEMBRE DEL 2010

**PROGRAMA DE MAESTRÍA ECONOMÍA ECOLÓGICA
CONVOCATORIA 2007-2009**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA CON
MENCION EN ECONOMÍA ECOLÓGICA**

**FACTORES DE CRECIMIENTO ECONÓMICO Y LA DEPREDACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA: CASO ECUADOR 1970-2007.**

ZURITA AGUILAR DENIS FABRICIO

**ASESOR DE TESIS: FERNANDO MARTIN MAYORAL
LECTORES: Phd. JOSHEP VOGEL / Msc. JOSÉ ANTONIO SANCHEZ**

NOVIEMBRE DEL 2010

“El hombre (...) debería mirarse a sí mismo no como una parte separada y distinta, sino como un ciudadano del mundo, como un miembro de la vasta comunidad de la naturaleza (...) Cualquier cosa que le concierna debería afectarle no más que todo aquello que concierna a cualquier otra parte igualmente importante de ese inmenso sistema”.

Adam Smith. Historia de la Astronomía (1795)

DEDICATORIA

La terminación de un proceso en todo ser humano es caótica o conflictiva, la transformación del mismo permite trascender en su desarrollo personal, pero sin el apoyo de personas que le alienten le comprendan y le apoyen no existiría este desarrollo, en mi caso el apoyo de mis padres fue fundamental para sobrellevar un mar desconocido, y además considerar soportes como mis hermanos, y mis compañeros de maestría no sería posible superar los obstáculos, sin dejar de contar a los profesores que animaron el ansia de saber y conocer más, sembrando en mi un sinnúmero de interrogantes a investigar a lo largo de mi vida.

Gracias a todos y un Dios les bendiga.

RESUMEN	3
CAPITULO I	7
LOS MODELOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO NEOCLÁSICO Y SUS CRÍTICAS	7
1.1 Modelos de Crecimiento y la tecnología.	8
1.2 Modelos de crecimiento relacionados con los Recursos Naturales	17
1.3 Modelo de Crecimiento con Recursos Naturales Agotables.	20
1.4 Críticas a los Modelos de Crecimiento Neoclásico	23
CAPITULO II	28
FLUJOS DE ENERGÍA Y ECOSISTEMAS	28
2.1 Flujos de energía y las leyes de la termodinámica	28
2.2 La entropía y los procesos económicos.	33
2.3 La Energía y los Ecosistemas.	42
2.4 La Radiación Solar y La Producción Primaria Neta (PPN).	45
CAPÍTULO III	51
EVIDENCIAEMPIRICA	51
3.1 La Apropiación humana de la producción primaria neta en el Ecuador (1996).	52
3.2 Aproximaciones Empíricas.	55
3.3 El Modelo Econométrico.	57
3.4 Fuentes de datos.	59
3.5 Análisis de Regresión Múltiple.	62
3.6 Imputación de datos múltiple.	63
3.7 Estimación del modelo.	65
CAPITULO IV	69

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
4.1 Conclusiones y Discusión	69
4.2 Recomendaciones	73
BIBLIOGRAFÍA	76

RESUMEN

Los seres humanos con el objetivo del crecimiento económico y como un intento de promover la economía, han desarrollado procesos que dependen en su gran mayoría de los factores de producción¹. La reproducción material utiliza los factores materiales provenientes de la biosfera, y como resultado de la transformación de los mismos, asimila los residuos de esta transformación en forma de desechos, por lo tanto comprender la interrelación del proceso productivo y la naturaleza, es fundamental para analizar la relación entre crecimiento económico y naturaleza. De este modo, la actividad económica de los países se fundamenta en la producción de bienes y servicios a partir de unos recursos escasos, valorados todos ellos a precios de mercado, y medida a través del producto interno bruto (PIB). Sin embargo, el mercado no puede reconocer el impacto de la degradación medioambiental si los servicios de los ecosistemas no pueden ser cuantificados.

Los ecosistemas naturales se basan en la energía solar² y el uso de materiales de forma cíclica, sin embargo, la mayoría de la energía utilizada por la economía moderna proviene de combustibles fósiles. Precisamente, la ecología nace como una rama de la biología que estudia la dinámica de los ecosistemas, como respuestas a estos problemas que ha creado la economía. De la unión entre Economía y Ecología surgen conceptos como el de desarrollo sostenible, que supone un avance en la visión económica tradicional incluyendo entre sus premisas el respeto al medio ambiente.

La Economía Ecológica destaca el aumento de la productividad del trabajo y la disminución de la productividad de los inputs energéticos, debido a que la economía moderna es muy dependiente de la energía externa. Esto genera efectos negativos ecológicos como la disminución biodiversidad, contaminación de las aguas por excesos de fertilizantes, la contaminación por uso masivo de pesticidas. La humanidad parece haberse olvidado de que la fotosíntesis constituye la base de la productividad de los sistemas naturales y sustenta la vida de nuestro planeta, que la capacidad fotosintética del planeta es finita y su pérdida, debido a la degradación de los ecosistemas, acaba afectando a las redes económicas humanas que ingresan en la cadenas alimentarias por

¹Capital, trabajo y recursos naturales

² Existen termofilicos que viven en gradientes de energía volcánica y geiser que proveen de ecosistemas basados en calor independiente de la luz solar

las redes nutritivas, debido a la fotosíntesis y fluye a través de los niveles tróficos. No obstante, las contradicciones entre Ecología y Economía han surgido debido a que la economía ha creado modelos de crecimiento económico que promueven la explotación³ y la expoliación⁴ de los recursos naturales, ignorando sus efectos sobre el entorno. Por eso, cada vez más, se está otorgando una creciente importancia al impacto de las actividades humanas sobre el valor de stock y servicios ambientales provistos por los ecosistemas, en especial por los ecosistemas terrestres⁵, que son biomasas altamente valoradas por la sociedad y reconocidos por su función en la regulación del aire, cambio climático y su importancia en la provisión de fibras y alimentos; sin embargo, la deforestación y degradación de los suelos de cultivo son temas de importancia creciente dentro del ámbito nacional. En este sentido, la Economía Ecológica propone nuevos instrumentos económicos basados en un sistema de contabilidad alternativo que incorpore costes ecológicos, sociales y ambientales en la economía tradicional, incorporando además, un nuevo indicador de bienestar que sustituya el producto interno bruto e incluya gastos de defensa del medioambiente y depreciación del capital natural a largo plazo (Martínez-Alier, Joan, 1999).

El Ecuador es rico en ecosistemas, biodiversidad y recursos naturales. Los principales ingresos del Estado están relacionados con la extracción de recursos no renovables⁶, además de recursos naturales renovables representados por productos primarios agrícolas⁷ relacionados con los ecosistemas terrestres. Sin embargo, este modelo económico basado en la explotación extractiva, ha ocasionado una degradación y destrucción de los ecosistemas terrestres y del suelo de las áreas de cultivo en el país.

Por este motivo, la presente investigación tiene como propósito analizar el efecto que los factores de crecimiento económico clásicos generan sobre los ecosistemas naturales del Ecuador, tomando como principal variable el cambio en la medida la masa

³ La palabra explotación se refiere al uso o empleo de recursos económicos, No necesariamente "racional"; o "positiva". Especialmente en ciencias sociales, política y filosofía, y particularmente por parte del enfoque marxista se emplea la palabra explotación como sinónimo de abuso de una clase o grupo dominante a expensas de una clase o grupo dominado.

⁴ La palabra expoliación, en cambio, es más unívoca y de carácter negativo. Expoliar supone el uso abusivo de algo, puede emplearse como sinónimo de "saqueo" o "depredación", en particular si se refiere a la explotación de recursos.

⁵ Los ecosistemas terrestres nacionales más importantes dentro de Ecuador son: Bosques, páramos, manglares, pastizales, áreas cultivables (Sierra 1996)

⁶ Recursos No renovables dentro del Ecuador, yacimientos de petróleo, yacimientos de metales preciosos como el oro y la Plata, además de grandes yacimientos de cobre

⁷ Según las estadísticas del Banco Central del Ecuador, los rubros por ingresos más significativos por productos de exportación primaria son: Banano, Café, Cacao, Flores.

forestal, en concreto, los bosques húmedos tropicales de la amazonia y Esmeraldas, los páramos de la región Interandina, los manglares en las provincias costeras y las áreas agrícolas cultivadas a nivel nacional⁸, mediante una aproximación de la Producción Primaria Neta (ppn) en la función de producción, durante el periodo comprendido desde 1970-2005.

Nuestro objetivo será demostrar la influencia de los factores de crecimiento económico en la degradación medioambiental del Ecuador, en el periodo 1970 hasta el año 2005, mediante el estudio la entropía de los ecosistemas naturales representados por la producción primaria neta (ppn), desde tres aspectos, la ppn total de los ecosistemas, la ppn de los ecosistemas naturales y la ppn de los agroecosistemas. La hipótesis principal del trabajo de investigación es que la elasticidad de la ppn de los ecosistemas terrestres, bajo una función de producción tipo Cobb-Douglas es negativa frente a un probable cambio en la elasticidad de los factores de producción.

El resto de la tesis está estructurada de la siguiente forma. El Capítulo 1 está dedicado a realizar un repaso teórico de las corrientes más importantes relacionadas con el crecimiento económico, desde la visión neoclásica de los modelos de crecimiento y la interacción de éstos con la tecnología, pasando por los principales modelos que tratan de explicar el crecimiento económico y su interacción con los recursos naturales agotables de Solow y Stiglitz, así como las principales críticas a estos modelos desde las visiones de la economía ambiental y la economía ecológica.

En el Capítulo 2, se considera la definición teórica de la energía y las leyes que sustentan su tratamiento como ciencia, pasando de esa manera a la interacción de la entropía dentro de los procesos económicos, de esta manera también consideramos a la energía y su importancia dentro de los ecosistemas naturales finalmente para tratar el tema de la producción primaria neta.

En el Capítulo 3, realizamos un análisis de la apropiación humana de la producción primaria neta de los ecosistemas en el Ecuador, según el análisis de Sierra (1999) para levantamiento satelital de 1996. Asimismo, se lleva a cabo un repaso de los principales trabajos empíricos que analizan el tema de la producción primaria neta, para

⁸ Los principales Estudios sobre ecosistemas del Ecuador, demuestran que los ecosistemas más importantes dentro del territorio son; Bosques Seco Húmedo tropical, Paramos, Manglares y Áreas Cultivables y su respectiva importancia en la fotosíntesis y regulación ambiental.

pasar a mostrar el modelo econométrico utilizado, descripción de los datos y un compendio de las principales herramientas utilizadas en el estudio. Finalmente, se muestran los resultados del modelo econométrico.

El Capítulo 4, analizamos los datos así como las diferentes teorías que permitirían analizar las hipótesis, y poder presentar las principales conclusiones y recomendaciones del modelo.

CAPITULO I

LOS MODELOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO NEOCLÁSICO Y SUS CRÍTICAS

La humanidad ha creado nuevas formas de satisfacer sus necesidades y lograr avances científicos, siendo uno de sus objetivos fundamentales, la optimización de los insumos, buscando de esta forma, alcanzar una mayor acumulación de capital. Para lograr este objetivo, se ha ido progresivamente adueñado de los servicios de los ecosistemas como proveedores de insumos y de materia primas, convirtiéndolos en sumideros de desechos, sin percatarse que al mismo tiempo, mientras suple las demandas que llevan al bienestar de la sociedad, genera nuevos conflictos ecológicos-distributivos.

La preocupación por el crecimiento y la acumulación de capital para satisfacer las necesidades humanas y generar poder económico y político, están enmarcadas en lógicas de explotación de recursos no renovables⁹, los mismos que son incompatibles con el sentido de sostenibilidad. Por el contrario, la falta de preocupación a los límites del entorno biofísico, con la introducción del capital como nuevo factor de producción, redujo al mínimo el problema de la escasez (Osorio, 2001), cambiando la problemática de la escasez de términos físicos hacia la escasez del capital monetario. Nos encontramos por tanto en la era de la economía de la abundancia¹⁰, donde se crean problemas en el sentido medioambiental, en forma de externalidades negativas, producidas por la explotación no sustentable de los recursos naturales, ya sean renovables o no renovables, lo que Martínez-Alier (1991) denomina *mochilas ecológicas a gran escala*.¹¹

En este proceso, el avance científico no ha logrado romper una realidad de nuestro planeta, la existencia de un mundo con límites ambientales, especialmente cuando se trata de los sumideros adónde va la degradación ambiental y de la utilización desmedida de recursos naturales no renovables cuyos substitutos más abundantes sean imperfectos. No obstante una serie de condiciones técnicas para el crecimiento

⁹ Fuentes principales de energía, tomando en cuenta que dicha explotación converge en la degradación de los ecosistemas donde se encuentran los yacimientos de recursos no renovables, es decir generando una destrucción del entorno biofísico.

¹⁰ La Economía de la abundancia se refiere a que el problema de la producción no esta restringido a momentos físicos , sino de tiempos , que los recursos son abundantes y óptimos en el tiempo mas no se refiere a lo físico

¹¹ Mochila ecológica es la cantidad de material necesario a sumar durante todo el ciclo de producción, para poner en venta un producto, o también llamado intensidad de materiales por unidad de servicio.

económico, han comenzado a considerarse a raíz del informe del Club de Roma (Meadows et al.) donde se promulga la tesis de que existen límites al crecimiento tanto biofísicos, como humanos, incluso la propia volatilidad de los precios del petróleo que en un futuro cercano nos llevarían a un inminente colapso.

Las principales condiciones técnicas enumeradas por los economistas neoclásicos para lograr el crecimiento económico, se centraron en la sustitución de los factores de producción, los rendimientos constantes a escala y el cambio tecnológico (Osorio, 2001, Granda, 2007), los mismos que han evolucionado, desde el mismo criterio de escasez, hasta el surgimiento del desarrollo sostenible son los principales puntos a debatir en este documento.

Según Joan Martínez-Alier (1991) la economía convencional de los recursos descansa en el principio de compensación y sustitución basada en que los recursos naturales pueden ser sustituidos por otros y su pérdida puede tener compensación monetaria. La economía ecológica en cambio, pone énfasis en el difícil o imposible proceso de sustitución de bienes ambientales como la biodiversidad o las compensaciones generadas por las externalidades negativas provocadas en la actualidad a las generaciones futuras.

En el siguiente epígrafe, analizaremos los modelos neoclásicos más importantes, partiendo de modelos ortodoxos de crecimiento para posteriormente incluir los recursos naturales agotables, así como su carácter inter-generacional o en términos de tiempo.

1.1 Modelos de Crecimiento y la tecnología.

Robert Solow (1979), en su artículo publicado en 1956 en el *Quarterly Journal of Economics*, en el sustenta un modelo formal de crecimiento donde critica las conclusiones del Modelo de crecimiento de Harrod elaborado en 1939, respecto a su hipótesis de producción en proporciones fijas, que implica que el crecimiento es inestable en las economías de mercado, por el supuesto de la tendencia crónica del exceso de ahorro sobre las necesidades del capital. Solow, cambia la esencia del modelo de Harrod basado en factores de demanda, en donde el crecimiento es función del

consumo y de la inversión, por un modelo macroeconómico que incorpora un equilibrio entre ahorro e inversión, desde la óptica de la oferta, cumpliendo la ley de Say¹².

Según Destinobles y Hernández (1998), los supuestos en los cuales se basa el modelo formal y simple de Solow, dependen de dos corrientes de la economía pertenecientes a la síntesis clásica-Keynesiana.

la primera corresponde a los aportes del Keynesianismo, sobre el mercado de bienes, donde se considera que el ahorro es determinado por sus ingresos, no se tiene en cuenta la tasa de interés, aunque conserva la ley de Keynes, con un mercado de trabajo independiente del salario real.

La segunda corriente proviene de la misma óptica Neoclásica, donde se integran las partes esenciales del modelo de equilibrio general de Walras¹³, admitiendo la posibilidad de sustitución perfecta y continua del capital y trabajo¹⁴, además toma el supuesto de la igualdad entre el ahorro y la inversión, es decir todo el ahorro es invertido, existiendo equilibrio en el mercado. Este supuesto destruye otra negación de Harrod, donde el exceso o la insuficiencia de demanda es la clave, existiendo problemas de salida o de demanda.

El modelo de Solow toma un primer supuesto en donde la producción está en función del capital, pagando por éste su producto marginal ($Pmgk$); el progreso tecnológico se considera exógeno ($A_t = (1+n)A_{t-1}$), así como el crecimiento de la población, ($L_t = (1+n)L_{t-1}$). Una vez eliminada la hipótesis del capital constante, Solow plantea una función de producción que permite perfecta sustitución entre factores.

Partimos de una función de producción sin tecnología:

$$Q = F(K, L) \quad (1)$$

donde K (stock de capital), L (trabajo), Q (producción)

¹²La oferta lidera sobre la demanda

¹³ Modelo de Equilibrio General de Walras, comportamiento tomador de precios, rendimientos constantes a escala, competencia perfecta.

¹⁴ Determinada cantidad de producción puede ser obtenida a partir de diferentes combinaciones de capital y trabajo.

Esta ecuación representa la oferta de una economía simplificada, y señala que la producción está en función de su stock de capital y de la cantidad de mano de obra, bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala.

La consideración de rendimientos constantes a escala es el supuesto neoclásico, que ingresa en toda función de producción, especialmente la neoclásica, y equivale a suponer que no existe factor de producción escaso no aumentable, como pudiera ser la tierra¹⁵.

Los rendimientos constantes a escala descansan en la replicación, es decir, los insumos de la producción, primero son identificables, en otras palabras sus funciones y su valor pueden ser hallados en otros productos; segundo sus características pueden ser duplicadas por medios tecnológicos, físicos o químicos. En otras palabras, si los factores de producción son identificados, es posible replicarlos en el proceso productivo.

Según Solow (1979), los supuestos de rendimientos constantes a escala, sobresalen en los modelos de crecimiento exógeno de corte neoclásico, donde no se incluyen los factores como tierra y recursos naturales, reforzándose las implicaciones de la caracterización de la producción:

“Equivale a suponer que no hay ningún recurso escaso no aumentable, como la tierra. El rendimiento constante a escala parece el supuesto natural a reformular en una teoría de crecimiento. El caso de la tierra escasa conduciría a rendimientos decrecientes a escala del capital y la mano de obra (Solow, 1979: 153)”.

La ecuación 1 puede ser también expresada en términos per capita, multiplicando por un factor $(1/L)$, del siguiente modo:

$$q = F\left(\frac{K}{L}, 1\right) = \frac{1}{L} F(K, L) \quad (2)$$

¹⁵ El supuesto de los rendimientos constantes a escala implica que la cantidad producida varía en la misma proporción de los factores que intervienen en el proceso de producción, y viene dado por la expresión matemática $kf(x_1, x_2) = f(kx_1, kx_2)$ donde $f(\cdot)$ es la función de producción y x_1, x_2 son los factores necesarios para el proceso productivo.

Donde $k = \frac{K}{L}$, es la cantidad de capital por unidad de trabajo y $q = \frac{Q}{L} = \frac{F(K, L)}{L}$ es la producción por unidad de trabajo.

De esta manera se observa que la producción por trabajador no depende del tamaño total de la economía sino de la cantidad de capital por trabajador dentro de la producción.

La función de producción neoclásica debe cumplir las siguientes propiedades:

El producto marginal es positivo pero decreciente:

$$f(0) = 0, \quad PMk = \frac{\partial q}{\partial k} = f'(k) > 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial PMk}{\partial k} = \frac{\partial^2 q}{\partial k^2} = f''(k) < 0 \quad (4)$$

donde PMk el producto marginal del capital.

Además cumple las condiciones de INADA, es decir, que la función de producción $f(k)$ es cóncava y tiene un máximo (la primera derivada es mayor que 0, y la segunda derivada es menor que 0):

$$\lim_{k \rightarrow 0} f'(k) = \infty, \quad \lim_{k \rightarrow \infty} f'(k) = 0 \quad (5)$$

Estas propiedades permiten que la función de producción garantice la no-divergencia de la economía, de manera que se llega a su equilibrio estacionario único de largo plazo.

Una función de producción que cumple con los supuestos de partida del modelo de crecimiento neoclásico es la función de producción Cobb-Douglas, cuya forma es:

$$F(K, L) = K^\alpha L^{(1-\alpha)}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (6)$$

La ecuación anterior permite la sustitución de factores, rendimientos constantes a escala o dicho de otra forma, es homogeneidad de grado uno, y rendimientos marginales de los factores productivos, positivos y decrecientes ($0 < \alpha < 1$).

Al encontrarse en condiciones de competencia perfecta, asimetría de información y productos marginales decrecientes, se asume la posibilidad de sustitución

de un factor por otro en la medida que el factor sea más productivo. Esta sustitución entre factores productivos, es crucial en la asignación de recursos en la economía neoclásica para evitar la escasez de un factor productivo, poder cumplir con las conductas de optimización de las teorías microeconómicas de las firmas y los individuos, es decir maximizadoras de beneficio y minimizadoras de costo, y poder insertarlas en los supuestos neoclásicos del mercado.

Si dividimos la ecuación 6 por el factor $(1/L)$, obtenemos la función de producción Cobb-Douglas en términos per cápita,

$$F(k,1) = k^\alpha \quad (7)$$

Que también cumple las propiedades anteriormente mencionadas (la producción marginal del capital es positiva de la siguiente manera, $f'(k) = \alpha k^{\alpha-1}$ y la segunda derivada es negativa probando la existencia de concavidad, $f''(k) = \alpha(\alpha-1)k^{\alpha-2} = -\alpha(1-\alpha)k^{\alpha-2} < 0$

El modelo de crecimiento de Solow, considera a toda la población empleada, asume que la tasa de ahorro está dada y es una parte constante de la renta¹⁶, el producto es usado para inversión y consumo, $Q_t = C_t + I_t$ y además, incorpora una ecuación de evolución del proceso de acumulación de stock de capital \dot{K} con y sin depreciación, de la siguiente manera:

$$\text{sin depreciación} \quad \dot{K} = \frac{\partial K}{\partial t} = 1 = F(K, L) - C \vee sF(k, L) \quad (8)$$

$$\text{con-depreciación} \quad \dot{K} = \frac{\partial K}{\partial t} = 1 = F(K, L) - C - \varepsilon K \vee sF(k, L) - \varepsilon K \quad (9)$$

Donde el K es el capital, mientras ε , es la depreciación supuestacomo constante.

Al considerar un modelo dinámico, y tomando en consideración que la fuerza de trabajo crece a una tasa exógena constante n , el factor productivo capital por trabajador (k) vendrá dado por la siguiente expresión.

¹⁶ Ahorro constante; $S = sY, 0 < s < 1$

$$1. \text{ sin depreciación } \dot{k} = sf(k) - k\eta, \quad (10a)$$

$$2. \text{ con depreciación } \dot{k} = sf(k) - (\eta + \varepsilon)k, \quad (10b)$$

Dividiendo la ecuación 10b por k se obtiene la ecuación dinámica de la acumulación del capital por trabajador:

$$\frac{\dot{k}}{k} = sk^{(\alpha-1)} - (\eta + \varepsilon) \quad (11)$$

La ecuación representa la tasa de crecimiento del capital por trabajador en términos relativos, a partir de la cual, se obtienen las curvas fundamentales del modelo de equilibrio de Solow. En el estado estacionario, el capital crece a una tasa constante

que en este caso es igual a cero al no considerar progreso técnico, $\frac{\dot{k}}{k} = 0$, donde la curva de ahorro $sk^{(\alpha-1)}$, que es una función de orden decreciente pero positiva¹⁷, es igual a la curva de depreciación, $(\eta + \varepsilon)$, que es una función constante y por consiguiente horizontal¹⁸. Las curva de ahorro y depreciación se cruzan una sola vez en el tiempo, obteniendo un nivel de capital (k^o) , que es estable en el tiempo, el capital en el estado estacionario.

Respecto al crecimiento de la función de producción en términos por trabajador:

$$\gamma_y = \frac{\dot{y}}{y} = \alpha \frac{\dot{k}}{k} = \alpha \gamma_k \quad (12)$$

se aprecia que γ_y es la fracción α de γ_k .

Al incluir en el modelo el cambio tecnológico, debemos considerar las siguientes implicaciones: el cambio tecnológico, es concebido por la economía moderna como la fórmula para alcanzar un crecimiento económico indefinido, ante la posibilidad de que se produzcan los supuestos de escasez de un factor productivo.

¹⁷ La curva de ahorro es decreciente, es decir tiende a cero cuando el capital (k), se aproxima a infinito y se aproxima a infinito cuando k se acerca a cero, bajo las condiciones de INADA. Y es positiva porque por ser $0 < \alpha < 1$.

¹⁸ La curva de depreciación es horizontal, es decir es independiente de las cantidades de capital (k), considerando que es estrictamente positiva

Los economistas neoclásicos introducen el factor tecnológico en los modelos ya sea como una variable de mejoramiento tecnológico, es decir de carácter exógena, o relacionado con las decisiones de inversión por lo que tendría un carácter externo¹⁹, e implica afirmaciones como las de Solow (1991):

... (...) En efecto, el mundo puede arreglárselas sin los recursos naturales, de modo que el agotamiento es solo un acontecimiento, no una catástrofe.... (...) el agotamiento de los recursos dejara a las generaciones futuras en mejor situación que la nuestra si una porción suficientemente grande de tales recursos se transforma en capital²⁰, en lugar de que se consuma como ahora ocurre(Pag. 61).

Según Barro y Sala-i-Martin (2004), si se logran combinar los factores de capital y trabajo en forma “óptima”, se puede llegar a satisfacer la demanda de los consumidores, dicho de otra forma, un cambio tecnológico produciría una expansión de la producción disponible, que conduciría a una mejor combinación de factores productivos en el tiempo, ignorando las consecuencias del sumidero ambiental que descalabra los ecosistemas.

Una mejor tecnología de la producción lograría reducir la energía necesaria para producción, bajando los costos, brindando de esta manera mayor bienestar a bajo costo energético.

Según Solow (1956), en ausencia de tecnología, los países parten con una dotación de capital por debajo de su estado estacionario, es decir con una reducida relación, capital-trabajo y los ahorros sirven para pagar el nuevo capital.

La consideración de rendimientos marginales decrecientes en el capital, lleva a que el producto marginal del capital disminuya a medida que la relación capital-trabajo aumenta, considerando la tasa de ahorro exógeno y por tanto, constante al ingreso, es decir, cada nueva unidad de capital produce un menor ingreso y por consiguiente un menor ahorro, lo que a su vez, lleva a una disminución en el proceso de acumulación de

¹⁹ Esta consideración ha dado origen a distintas escuelas de pensamiento sobre el crecimiento económico que quedan fuera del objeto de la presente tesis.

²⁰ A través de la tecnología exógena o endógena.

capital hasta que finalmente se detiene su crecimiento, habiendo alcanzado su estado estacionario.

Existen varias formas de introducir el progreso técnico en la función de producción: (i) permite producir la misma cantidad de producto con menos cantidad de capital (progreso técnico ahorrador de capital)²¹, (ii) con menos trabajo (progreso técnico ahorrador de trabajo)²², (iii) o ambos a la vez (progreso técnico neutral o insesgado)²³.

Al introducir la tecnología ahorradora de trabajo en la función de producción Cobb-Douglas se obtiene la siguiente expresión.

$$Y = f(K, AL) = K^\alpha (AL)^{1-\alpha} \quad (13)$$

En términos per cápita quedaría $y = k^\alpha A^{1-\alpha}$, donde $A_t = A_0 e^{gt}$, es decir que el aumento del factor tecnológico depende del estado inicial de la tecnología y de una tasa constante de aumento g . Por su parte el aumento del stock de capital con depreciación queda:

$$\dot{K} = sf(K, AL) - \delta K = sY - \delta K \quad (14)$$

Y en términos per cápita, considerando que $k = \frac{K}{L}$

$$\dot{k} = sy - (n + \delta)k = sk^\alpha A_0^{1-\alpha} e^{(1-\alpha)gt} - (n + \delta)k \quad (15)$$

Por lo tanto los países con mayores niveles de inversión un mayor nivel tecnológico inicial, y menores tasas de crecimiento poblacional y de depreciación del stock de capital, obtendrán un nivel de capital y producción per cápita mayor en el estado estacionario.

En virtud de que la tecnología es considerada una invención de la creatividad humana y debido a que la creatividad de las personas es infinita, se considera al cambio

²¹ Solow (1957), aumentador de capital $Y = f(AK, L)$

²² Harrod (1942), aumentador de trabajo $Y = f(K, AL)$

²³ Hicks (1932), considera el progreso técnico como neutral $Y = fA(K, L)$

tecnológico como la solución al inevitable proceso de agotamiento de los recursos naturales ricos en energía y a la degradación/destrucción de la biosfera.

Existen diversas aportaciones de este hecho en las teorías sobre el progreso tecnológico, algunas consideran al progreso técnico como aumentativo de recursos (Dagusta et al., 1974), otras incluyen la tecnología del conocimiento como parte del factor productivo capital y otras consideran la tecnología como un factor de contención (Nordhaus, 1974).

Según Dagusta y Heal (1974, pag. 26), "... (...) la existencia finita de recursos necesarios para la producción, no implica que la economía deba estancarse si coexiste una tasa positiva constante de tecnología aumentativa de recursos", la tecnología permite generar la misma cantidad de producción con menos recursos, incrementándose la eficiencia, aprovechando la escasez del recurso, reduciendo la emisión de desechos al medio ambiente y el impacto de la falta de recursos, incluso si la elasticidad de sustitución entre el capital humano y el capital natural es nulo.

Howitt y Aghion (1998)²⁴, desde una visión crítica a la escuela neoclásica, sustentan el crecimiento económico en la generación de nuevas ideas, las cuales pueden vencer los límites biofísicos, mediante la incorporación del conocimiento en la función de producción, permitiendo un crecimiento sostenido independiente del capital natural y de las externalidades provocadas por su extracción.

En conclusión, la economía neoclásica, para garantizar un crecimiento económico sostenido, considera la necesidad del cambio tecnológico a una tasa constante y exógena que permita solucionar el deterioro y agotamiento de recursos no renovables. Según Nordhaus (1974), la tecnología de contención permite sustituir eficientemente y perfectamente los recursos no renovables, por medio de la satisfacción de estándares mínimos de materia y energía, considerando menores pérdidas de energía en los procesos productivos.

²⁴ Aghion y Howit (1998), desarrollan un modelo de crecimiento endógeno de visión schumpeteriana, donde se ingresa un recurso no renovable en la función de producción. El crecimiento sostenido se consigue como resultado de realizar una diferencia entre capital tangible y capital intelectual, permitiendo la obtención rendimientos constantes a escala, lo que elimina las restricciones biofísicas energéticas sobre los procesos productivos.

1.2 Modelos de crecimiento relacionados con los Recursos Naturales

La actividad económica del ser humano se orienta hacia obtener el mejor resultado empleando la menor cantidad posible de recursos.

La teoría sobre el crecimiento óptimo de la economía fue formulada por Frank Ramsey en 1927 (conocido posteriormente como modelo de Cass-Koopmans)²⁵, con una aproximación a la utilización de funciones de utilidad individuales a través del tiempo, donde se toma como idénticas las preferencias de las personas con la posibilidad inter temporal de perder ciertos procesos productivos.

En términos matemáticos el bienestar social W viene dado por la siguiente expresión $W = \min(U_1, U_2, U_3, \dots, U_n)$, donde U_n , representa las utilidades o curvas de indiferencia de los n elementos de una economía, básicamente referido al principio del Max-Min²⁶.

El principio de Max-min de John Rawls trata de explicar que bajo cada posible acción a_i , tiene su peor resultado dado la ecuación $s_i = \min v_{ij}; j = 1, 2, 3 \dots n$, donde s_i es el nivel de seguridad a_i , es decir al menos se garantiza un nivel de beneficio s_i .

El criterio Max-min permite que el decisor seleccione un escenario a_k , de tal manera que se obtenga el nivel mayor de seguridad posible, $s_k = \max s_i; i = 1, 2, 3 \dots n = \max_i \min_j v_{ij}; j = 1, 2, 3 \dots n$. el criterio Max-min es un criterio pesimista de elección ya que asume el peor escenario.

Solow critica este principio en el sentido que técnica e inter-temporalmente es impracticable, debido al hecho de que en ningún momento los individuos van a renunciar a un consumo menor en un cierto momento y advierte que la asimetría intergeneracional nos demuestra una incongruencia técnica.

En los modelos de crecimiento neoclásico donde se asumen recursos naturales no renovables (Solow y Stiglitz), se permite la posibilidad de sustitución técnica entre

²⁵ Citado por Solow (1973)

²⁶ El principio de Max-Min de crecimiento óptimo de una economía, requiere que el consumo de los individuos debe ser alto en un tiempo inicial y más bajo en el tiempo futuro, para permitir que la economía aumente su ahorro e inversión en generaciones iniciales y lograr menos ahorro e inversión en las generaciones presentes y futuras, aunque con mayor bienestar

factores productivos no renovables, por un factor dentro de la función de producción, en este caso el capital hecho por el hombre (ya sea físico o humano).

La tasa de sustitución técnica viene expresada por $TTS = \frac{\alpha K}{\beta L}$, y nos indica la combinación óptima de factores que minimizan los costos de producción. El nivel de sustitución a partir de las elasticidades y cuya suma es igual a uno ($\alpha + \beta = 1$), según Harcourt (1973), se basa principalmente en la noción del supuesto de maleabilidad, es decir que los bienes de capital están formados por materiales homogéneos e indestructibles que pueden amoldarse a cualquier forma física o química, desbaratando las especificaciones técnicas de heterogeneidad de los elementos, e introduciendo la sustitución perfecta entre factores, es decir que los recursos naturales fácilmente pueden ser sustituidos por capital o trabajo.

Solow, extiende su modelo de producción con la incorporación de recursos naturales, de la siguiente manera:

$$Q = F(K, L, R) \quad (16)$$

Donde K es el stock de capital, L es la población total y R es la tasa de extracción de recursos naturales de los yacimientos de reservas probadas. Se presume que las existencias iniciales de R se utilizarán temprano para la producción y para la acumulación, para de este modo apuntalar el consumo. Al existir unas limitadas reservas de recursos, se puede suponer que los niveles de consumo agregado tenderán a cero para un tiempo infinito.

Para nuestro caso de interés, debemos suponer que $R = 0$ a partir un cierto momento, lo que implica que $Q = 0$, debido al modelo matemático utilizado.

$$Q = F(K, L)R^h, \quad 0 < h < 1, \quad (17)$$

Donde h es la elasticidad de los recursos naturales.

Aplicando este supuesto a una función de Cobb-Douglas se obtiene la siguiente expresión.

$$Q = A^{mgt} L^g K^{(1-g-n)} R^h \quad (18)$$

Donde mg , es el progreso técnico neutral a la Hicks. Esta función es homogénea de grado $1-n$ y por consiguiente tiende a cero cuando t tiende a ∞ .

Si consideramos condiciones de precios sombra²⁷ de capital (pt) podemos obtener las siguientes afirmaciones:

- Los recursos naturales deben ser utilizados inicialmente de tal manera que su valor marginal mantenga su eficiencia, con respecto a su propio capital natural.
- La tasa de cambio de los precios sombra de los recursos naturales debe ser igual a la suma de las tasas de cambio del capital y la tasa de rentabilidad del ingreso, es decir, el cálculo de la eficiencia de los precios, es indiferente entre los bienes de capital y los depósitos minerales.

Las conclusiones del modelo de Solow nos indican que el consumo per cápita depende esencialmente del capital inicial. La existencia de recursos agotables no influye sobre el modelo debido a la posibilidad de que las elasticidades de sustitución entre los recursos naturales, el capital y la mano de obra es uno, es decir cualquier nivel de consumo puede mantenerse.

Si el capital, ya sea social o material, es inicialmente grande, y además tenemos fuentes de recursos suficientemente abundantes, se debe utilizar intensivamente los recursos naturales de modo que la creación de capital social sea elevada en el tiempo inicial, permitiendo a las generaciones futuras gozar de un mejor nivel de vida.

Dados los niveles de consumo de la población, el modelo de Solow bajo el supuesto de tecnología ilimitada, sugiere que la población no va a preferir un consumo menor en el tiempo inicial, lo que implica que la población en un tiempo inicial se verá obligada a la utilización de los recursos naturales de tal manera que se consiga con ello aumentar el capital reproducible (capital físico y capital humano), considerando implícita la suposición de una sustitución de factores no menor a uno.

²⁷Son los valores de referencia de las variables en el óptimo de la ecuación, representa el costo de oportunidad de producir un bien determinado

1.3 Modelo de Crecimiento con Recursos Naturales Agotables.

Según Stiglitz (1974a), existen al menos tres fuerzas en la economía que no permiten la imposición de limitaciones a los recursos naturales, estas son: el cambio tecnológico, la sustitución de los factores de producción capital y recursos naturales y, los retornos a escala bajo los niveles sustentables de consumo per cápita.

El análisis del crecimiento óptimo presenta dificultades técnicas en su desarrollo debido a la existencia de dos variables de estado: el stock de capital per cápita, y el stock de capital de recursos naturales per cápita. Además se consideran dos variables de control, la tasa de extracción de recursos naturales y, la tasa de ahorro óptima.

El modelo desarrollado por Stiglitz parte de una función de producción Cobb-Douglas con tecnología a la que se incluyen el factor recursos naturales y el tiempo...:

$$Q = F(K, L, R, t) = K^{\alpha_1} L^{\alpha_2} R^{\alpha_3} e^{\lambda t}, \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (19)$$

Donde R es la tasa de utilización de los recursos naturales, L son los trabajadores, λ tasa de progreso tecnológico que se asume constante, K es el stock de capital, t es el tiempo y $\dot{Q} = C + \dot{K}$, siendo C consumo y K es el stock de la inversión neta. Adicionalmente, se asume crecimiento de la población exógena a una tasa constante n ²⁸.

Diferenciando logarítmicamente la ecuación 19, obtenemos el modelo dinámico de la producción y por analogía del capital:

$$\gamma_Q = \frac{\dot{Q}}{Q}, \gamma_K = \frac{\dot{K}}{K} \quad (20)$$

La ecuación 20, explica γ_Q , que es la cantidad de producción y γ_K , es la cantidad óptima de capital. A partir de la ecuación 19 obtenemos la tasa de crecimiento del producto:

$$\gamma_Q = \alpha_1 \gamma_K + \alpha_2 \eta + \alpha_3 \gamma_R + \lambda \quad (21)$$

²⁸ $\frac{L}{L} = \eta$

La ecuación 21, nos permite obtener la cantidad optima de producción en términos de α^1 que es la elasticidad de capital, $\alpha^2\eta$ que es la elasticidad y el crecimiento de la población, y $\alpha^3\gamma_R$ es la elasticidad de los recursos naturales y la cantidad optima del mismo, λ tasa de progreso tecnológico que se asume constante.

En la ecuación 21 podemos observar que las decisiones económicas de producción dependen en particular de la tasa de crecimiento del capital, de la tasa de crecimiento de la población y de la tasa de aportación de los recursos naturales, que son considerados limitados, y deben tener en cuenta la condición básica de eficiencia²⁹, Si tenemos en cuenta un modelo de crecimiento económico con recursos naturales, debemos tener en cuenta el crecimiento del consumo en el tiempo para poder llegar a un estado estacionario óptimo. Si consideramos al consumo como $C = xQ$, y a γ_C , como la tasa de crecimiento del consumo, entonces $\gamma_C = \gamma_x + \gamma_Q$,

$$\gamma_x = \gamma_C - \frac{\alpha^2\eta + \lambda}{\alpha^1 + \alpha^2} + \frac{\alpha^1\beta x}{\alpha^1 + \alpha^2} - \alpha^1\beta \quad (22)$$

La ecuación 22, nos permiten caracterizar un estado estacionario basado en el consumo de acuerdo con la siguiente analogía $\gamma_{\beta x} = \gamma_C + \beta x - \beta$

Stiglitz, indica ciertas proposiciones deducidas de su modelo:

- Cuando una economía de consumo crece a una tasa constante, tiene una tasa de ahorro constante, una tasa de ingreso de recursos naturales constantes y una tasa de ingreso de capital constante.

²⁹ $F_K = \frac{\partial \ln F_R}{\partial t}$, es decir la tasa de retorno de capital (F_K) debe ser la misma que la tasa de cambio del

producto marginal de los recursos naturales ($\frac{\partial \ln F_R}{\partial t}$), que en el modelo es precisamente

$\alpha^1\beta = \gamma_Q - \gamma_R$, donde la tasa de cambio de salida del capital es $\beta = \frac{Q}{K}$, y la tasa de ahorro agregada

es $s = \frac{\dot{K}}{Q}$, $x = 1 - s$,

- Un aumento en la tasa de ahorro aumenta el crecimiento, de tal manera que se incrementa la tasa de salida del capital, lo cual está asociado con la baja en la utilización de recursos naturales.
- Un crecimiento eficiente constante implica una tasa de ahorro más pequeña que la cuota del capital.
- Si la tasa de crecimiento de la población es positiva, condición necesaria y suficiente, el crecimiento permitirá un nivel constante de consumo per cápita, por lo que la tasa de cambio tecnológico y la tasa de crecimiento de la población debe ser mayor o igual que la tasa de proporción de recursos naturales.
- Una condición necesaria y suficiente para que exista un nivel constante de consumo sin cambio tecnológico y sin crecimiento poblacional es que venga acompañado de una proporción de recursos naturales menor que la proporción del capital.

Stiglitz (1974a), manifiesta que una economía con recursos naturales limitados, necesarios para los procesos productivos, no implica que ésta se estanque o decline en su crecimiento, ya que existen dos fuerzas que compensan esa pérdida de recursos como son el cambio tecnológico y la acumulación de capital.

Stiglitz (1974a), señala que a pesar de no existir un cambio tecnológico, la acumulación de capital se vuelve el factor más importante en una economía, aclarando que para ello es necesario que el capital sea la parte más importante del proceso productivo. En cambio, con aumento tecnológico, cualquier crecimiento positivo permitirá compensar la disminución de los recursos naturales en el proceso productivo.

Según Stiglitz (1974b), los fallos de mercado³⁰ implican una elevación de la producción de los recursos energéticos, llevándolos a un agotamiento más rápido. Sostiene que la demanda de recursos naturales depende de la tasa de cambio de los precios, es decir de su plusvalía, la misma que origina una explotación más rápida de los recursos naturales.

³⁰Sobre la ausencia de futuros y los mercados de riesgo, los mismos que garantizan la proporción óptima de producción de los recursos naturales de modo paretiano.

Solow (1974), indica que a largo plazo el principal problema es la incapacidad de provisión de recursos naturales, lo que lleva a consumir los mismos de forma más lenta o más rápida, en relación con la tasa de cambio de los precios de los recursos naturales, es decir el aumento de precios nos lleva a grandes conflictos con los demás bienes de capital que se basan en los recursos naturales.

Dagusta y Heal (1974), señalan que la sustitución entre factores es clave para el crecimiento económico, cambiar los materiales no reproducibles por aquellos reproducibles para lograr romper las barreras de los recursos agotables.

1.4 Críticas a los Modelos de Crecimiento Neoclásico

Las principales corrientes que tratan de deslegitimar las concepciones neoclásicas de la economía en lo referente a los recursos naturales y escasos, se centran principalmente en la Economía Ambiental y en la Economía Ecológica³¹.

Según Aguilera y Alcantara (1994), la economía ambiental estudia los problemas causados de las externalidades del crecimiento económico y su problemática de valoración³², y en un segundo momento sobre la asignación inter-generacional óptima de los recursos agotables (Solow y Stiglitz).

La reducción de la economía al campo de los objetos apropiados y valorados que se consideran producibles, tropieza con los problemas de los valores de uso y valores de mercado. Allí surge el problema de los medios naturales y su valoración en la economía ambiental actual.

La Economía Ecológica y su relación con la economía se basa en el sustrato biofísico que se interrelaciona con la economía desde el punto de vista lógico del proceso productivo de base natural, es decir la relación naturaleza-ser humano.

³¹ se pueden señalar dos tendencias ambientalistas: la economía ambiental y de los recursos naturales (basada en el informe Brundtland) y, la economía ecológica (basada en el informe Meadows).

³² Los principales autores de la Economía de las externalidades son; Pigou (1920), Coase (1960) y Mishan (1971)

Según Kapp (1976), la degeneración del medio ambiente tanto físico como social³³ y la depredación de recursos naturales no renovables son ejemplos de cómo los sistemas económicos están ligados de forma irrevocable a otros sistemas, ya sean naturales o sociales. Esto significa, en definitiva, que los sistemas económicos son sistemas abiertos. Esta idea contrasta con la concepción de los economistas clásicos de la economía como un sistema cerrado por facilidad metodológica que permita formular conceptos y teoría en relación con la lógica matemática formal.

Según Daly (1977), la mayoría de los econometristas son cautos del hecho de que el cambio tecnológico no se puede medir directamente, pero no es más que el residuo no explicado en su regresión después de incluir muchos factores medibles y variables ficticias.

Daly(1977) manifiesta que la posición ortodoxa de que la productividad del capital reproductivo se incrementa exponencialmente, gracias al progreso tecnológico exponencial, se contrasta con el problema de que el progreso tecnológico exponencial, como se mide en las funciones de producción de dos factores es por lo general acompañado por un aumento exponencial en el rendimiento de los recursos³⁴, que quedan fuera del análisis, en otras palabras se contempla el aumento de la productividad del trabajo y el capital a costa de la continuidad y el aumento constante de la productividad de los recursos sin considerar que los recursos son en última instancia, el factor escaso.

Según Naredo (1999), la economía ecológica³⁵ nos da dos propuestas con respecto al supuesto de sustituibilidad: la primera desde la economía neoclásica, enmarcada en la corriente de la sustentabilidad débil, mas proveniente de la economía ambiental, que indica que los nuevos productos se realizaran de una manera más eficiente con menor utilización de recursos energéticos y menos factores productivos, bajo una visión de adelanto tecnológico, mientras que la segunda, la corriente de la sustentabilidad fuerte, en cambio, implica que los factores de producción especialmente el capital natural y el capital hecho por el hombre son complementarios y no sustitutos.

³³Se considera el ambiente social, los paisajes y demás beneficios que ofrecen los ecosistemas naturales

³⁴ Agotamiento y Contaminación

³⁵ Sus principales defensores son: Kenneth Boulding (1966), Nicolás Georgescu Roegen (1971), Robert Heilbroner (1974) y, Daly, Erlich, Naredo y Martínez Alier (actualmente).

Daly (1999), uno de los principales exponentes de la corriente de economía ecológica señala que existe una contradicción de la primera ley de conservación de la energía en cuanto que, ni el capital ni el trabajo pueden crear los valores de materia y energía, que puedan compensar los niveles necesarios para los procesos productivos, invalidando el supuesto de la combinación óptima de factores para la producción.

Según Georgescu-Roegen (1989), el progreso tecnológico ingresa en el crecimiento económico como un factor de incremento igualmente económico, es decir en ningún momento la tecnología aumenta la energía, al contrario únicamente optimiza la energía ya existente. De hecho datos estadísticos demuestran que los avances científicos han quintuplicado la producción en las últimas décadas. El problema es que este incremento de la tecnología ha venido acompañado por un aumento en la extracción de recursos naturales en zonas de vegetación primaria, originando deudas ecológicas y también deudas sociales, al incrementar las brechas en los ingresos entre países. Cabe destacar que todo progreso tecnológico se basa en la utilización de nuevas formas de energía, dando lugar a nuevos conceptos de desarrollo sostenible.

Según manifiesta Georgescu-Roegen (1977a), las energías de los procesos económicos realizados por el hombre son irrevocablemente perdidas, por consiguiente gastadas, sin embargo, por las leyes de la termodinámica no son aniquiladas sino transformadas y no aprovechadas. Por tal motivo, todo proceso resulta en un déficit en términos de materia y energía. En la cita que Georgescu-Roegen hace de Marshall, “el ser humano no puede crear ni materia ni energía, únicamente logra utilidades, es decir lo compara con la ciencia de la mecánica de la utilidad y el auto interés”(Georgescu-Roegen (1977a: 217).

Los procesos económicos están inseparablemente ligados a los medios naturales, desde el mismo hecho de la lucha por los recursos naturales, hasta llegar a la finitud de los mismos. Desde esta visión, la ayuda de la termodinámica es fundamental debido a que la materia-energía se está destruyendo continuamente desde una forma disponible y valorada hasta una forma no disponible y por consiguiente no valorada. Este proceso da lugar a la ley de la entropía.

Según Georgescu-Roegen (1977a), la economía debe ser estudiada como una rama biológica, por considerar que somos una de las tantas especies compuestas de carbono, y debemos estar sometidos a las leyes que gobiernan el planeta tierra. Sin

embargo, por el hecho de tener el control de todos los recursos y existencias energéticas y bióticas, somos los únicos que en nuestro progreso, hemos violado los límites biológicos de la tierra.

Georgescu-Roegen (1977b), manifiesta que la termodinámica es un proceso mediante el cual la fricción transforma la energía, pero esta energía no solo no es reversible en la naturaleza sino que además no puede ser transformada completamente en trabajo. La mayoría se disipa en el ambiente generando calor irrecuperable en términos energéticos. De la misma manera se advierte que los procesos económicos no reconocen estas pérdidas de eficiencia energética.

Si se parte de una función de la producción basada en un sistema cerrado, solo se reconocen los productos resultantes de los procesos de transformación de materias primas hasta obtener productos elaborados, mientras que si partimos de conceptos de termodinámica, se debe además reconocer las pérdidas de eficiencia de los materiales transformados en forma energética.

Georgescu-Roegen (1977c), manifiesta que la mayoría de los procesos económicos basan sus resultados en un completo mecanismo de reversibilidad de un equilibrio en otro, y en una relación directa entre producción y consumo, omitiendo en cierta medida la importancia de los recursos energéticos en su mecanismo y peor aun sin manifestar interés en las propiedades termodinámicas del mundo físico donde existimos.

Para Common (1997), en referencia a los trabajos de Solow(1973)/ Stiglitz (1974^a) y Daly (1999) están de acuerdo en dos cuestiones fundamentales: que las actividades económicas implican una interacción con el medio ambiente en lo referente a extracción e inserción de materiales y, que la clave para un crecimiento dinámico a largo plazo se centra en los procesos de posibilidades de sustitución entre factores en el proceso productivo³⁶. Sin embargo, estos autores no toman en cuenta la interdependencia de los sistemas económicos y medioambientales.

Si observamos las externalidades donde se asume que uno es generador mientras otro es el que sufre, sin olvidar de cierto modo, quien posee los derechos de propiedad, en el segundo aspecto debemos tener en cuenta que hasta el día de hoy la tecnología no nos ha permitido, salvo en ciertos casos, la sustitución perfecta de factores.

³⁶ Sustitución entre capital y Recursos agotables, además de sustitución entre recursos agotables y recursos renovables de la naturaleza.

Según Pearce (1997), existen distintas forma de capital³⁷, que deben ser consideradas desde el punto de vista de Sustentabilidad en el tiempo, y que empíricamente son los principales temas de muchos estudios. Pearce manifiesta que existe un problema importante en el hecho de sustituir un capital por otro, al igual que Georgescu-Roegen (1977c), señalando que los capitales no son sustituibles sino complementarios. Por el contrario Solow (1973) sustenta que la sustitución o combinación de varios capitales puede generar procesos productivos en ausencia de un capital. De este concepto se desprende una depredación de los recursos naturales de forma gradual, incurriendo en importantes problemas medioambientales provocados entre otros muchos factores por la acumulación de residuos tóxicos a la biosfera, produciendo daños relacionados con los capitales reproducibles.

Para terminar de conceptualizar el capítulo, debemos considerar el sentido mecanicista de la economía del crecimiento económico que los autores neoclásicos manifiestan, basado en un sistema cerrado donde se desarrollan los procesos productivos, la posibilidad de sustitución de factores como panacea y cura a los procesos de escasez que se producen a nivel de capital biofísico de la tierra, las consideraciones de una tecnología que nos permita contaminar menos y producir más. Sus detractores critican este sistema productivo cerrado así como el mantener fuera a los ecosistemas tanto desde una óptima de resiliencia como de disminución entrópica.

³⁷ El capital se puede dividir en capital material (reproducibile o no), capital natural, capital humano y por ultimo y no menos importante el capital Social, el mismo que interactúa con los demás capitales anteriores.

CAPITULO II FLUJOS DE ENERGÍA Y ECOSISTEMAS

La energía es el denominador común de los bienes existentes en la naturaleza, esta misma energía puede ser tratada de forma mercantil o ligada a la ley de la equivalencia desarrollada por Einstein en su Teoría de la Relatividad especial formulada en 1905, que considera seis formas básicas en que se manifiesta: energía mecánica (trabajo), térmica (calorífica), eléctrica, química, nuclear y solar.

La energía se relaciona a una forma de organización diferente de la materia, el calor es la manifestación desordenada de las moléculas, en cambio el trabajo o la electricidad son las manifestaciones ordenadas de un flujo de electrones que se dirigen en una misma dirección. Sin embargo

Todo sistema tiene tendencia a desorganizarse y a desorientarse hacia un estado de mayor desorden, fenómeno que ha recibido el nombre de entropía (Passet, 1980).

En este capítulo se trata de introducir al lector sobre las leyes básicas que sostienen la teoría de la termodinámica y su consecuente estudio, dentro de los campos de la economía y la interrelación con los ecosistemas a través del estudio de la producción primaria neta (ppn). La producción primaria neta (ppn) nos permitirá inferir sobre su importancia, sus efectos sobre la degradación de los ecosistemas, cómo se manifiesta y sobre todo saber cuál es la relación entre los ecosistemas y la utilización de la energía.

2.1 Flujos de energía y las leyes de la termodinámica

La Economía Ecológica distingue otros valores de los apenas crematísticos³⁸, que relacionan los procesos productivos que son procesos fundamentalmente humanos. La incorporación de las leyes de la termodinámica en los procesos económicos, plantean la diferencia entre la crematística y Economía. Así, mientras la crematística estudia las relaciones de mercado, la economía en su rama ecológica basa sus estudios en la

³⁸ Estudio de los precios.

relación energía-material de la biosfera donde conviven tanto seres humanos como animales (Araujo, 1998).

La termodinámica, se basa en el estudio interno de los sistemas físicos, especialmente en los intercambios de energía en forma de calor, desde un sistema a otro, en magnitudes generalmente macroscópicas.³⁹ Estas vienen definidas por la temperatura, presión y volumen, conocidos como las variables de estado⁴⁰. En consecuencia la termodinámica busca encontrar las relaciones en coherencia con principios básicos de la física. La termodinámica basa sus análisis en leyes que son principalmente: (i) Ley cero (Conceptos primordiales de temperatura), (ii) Primera ley de la termodinámica (Principio de la conservación de la energía), (iii) Segunda ley de la termodinámica (Principio de Entropía). Analizaremos cada una de las leyes pero en especial la segunda, el principio de entropía.

Estas leyes relacionan los cuerpos físicos con el flujo energético, y se han convertido en elementos esenciales en los campos de la ingeniería, en los procesos industriales, e inclusive en los procesos sociales-económicos.

Cuando un sistema macroscópico pasa de un estado de equilibrio a un estado variable se debe principalmente a un proceso termodinámico, y en consecuencia, a las leyes mencionadas.

La ley cero manifiesta, que si tenemos dos cuerpos en contacto en un tiempo t a diferentes temperaturas uno del otro, se producirá una transferencia de calor del más abundante en energía hacia el otro de menor energía calórico, hasta alcanzar un equilibrio térmico en unidades de kilocalorías térmicas.

$$A_t * \alpha_1 > B_t * \beta_1; \alpha_1 > \beta_1 \quad (23)$$

$$A_{t+1} * \alpha_2 = B_{t+1} * \beta_2; \alpha_2 = \beta_2 \quad (24)$$

³⁹ Coordenadas Termodinámicas; magnitud macroscópicas que por medio de calor se relacionan con el estado interior de los elementos, es decir un conjunto de materia que se puede aislar espacialmente y que coexisten con un entorno infinito e imperturbable

⁴⁰ Variables de Estado principales son temperatura, presión y volumen pero debemos destacar que existen muchas otras variables como la densidad, el calor específico, la compresibilidad o el coeficiente de dilatación, todas relacionadas con un completo sistema, en relación a su entorno

Las ecuaciones 23 y 24 nos muestran el proceso de cambio de dos objetos de diferente temperatura, $\alpha^1 > \beta^1$ en un tiempo t , hacia una igualdad calórica de los objetos en un tiempo $t+1$, $\alpha^2 = \beta^2$, por procesos termodinámicos⁴¹.

La primera ley de la termodinámica, indica las relaciones entre la energía interna que comprende desde las fuerzas intra-atómicas (energía química) hasta las fuerzas nucleares, el trabajo efectuado, que incluye el trabajo mecánico y el trabajo de las corrientes eléctricas y la variación del calor⁴².

Si en un sistema con una energía interna dada se realiza un trabajo mediante un proceso mecánico, químico o físico, esta energía interna comenzara a variar, la misma que se denomina calor, que es la energía que se transmite por medios no mecánicos.

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \quad (25)$$

En la ecuación 25, ΔQ es la variación de calor o energía suministrada al sistema, ΔU es el cambio en la energía interna del sistema (cambio entrópico), ΔW es el incremento del trabajo efectuado por el sistema contra las fuerzas externas⁴³.

Debido a que la energía interna, el trabajo efectuado y la variación del calor son diferentes manifestaciones de energía, se llega a la conclusión que la energía no se crea ni se destruye, sino que a partir de un determinado proceso se transforma en otra manifestación.

Basados en la primera ley de la termodinámica, los científicos y aun los científicos sociales, pretendieron construir una maquina de movimiento perpetuo⁴⁴, es

⁴¹De la ley cero podemos inducir el concepto de temperatura, que es una característica intrínseca de cada objeto y que se mide con sistemas arbitrarios y escalas termométricas. Si un sistema está en equilibrio con otros dos, estos últimos se encuentran en equilibrio, por la razón física del intercambio de calor, que es una variable de estado,

⁴² Los cambios del calor, se los puede medir mientras un sistema mantenga constante el volumen, presión y temperatura, o mediante una variación de uno de sus tres variables de estado, en física puede llamarse a estos procesos, Isotérmicos (temperatura constante), Isocórico (volumen constante), Isobarico (presión constante, y Adiabático (no hay intercambio de calor con el exterior).

⁴³ Durante un tiempo determinado, la energía interna del sistema puede variar, es decir $\Delta U \neq 0$, o puede existir un trabajo efectuado en el sistema $\Delta W \neq 0$, o ambos factores pueden actuar sobre un sistema, generando por tanto un aumento del calor o temperatura dentro del sistema, es decir $\Delta Q > 0$,

⁴⁴ Aplicado al ámbito económico, se estaría considerando que la economía es un proceso cerrado sin interacción del medio que lo circunda.

decir un sistema donde se puede producir energía útil sin invertir una cantidad igual o mayor de energía (en trabajo o calor). En otras palabras, sería indefinida en su trabajo, con lo cual podríamos resolver nuestros problemas de energía o de agotamiento de recursos naturales renovables o no renovables ricos en energía calórica.

Debido a la primera ley de la termodinámica, los economistas clásicos y neoclásicos manifiestan que el factor más importante para lograr un crecimiento económico perpetuo es el progreso técnico y la creación de un sistema productivo que permita este milagro.

De allí que la economía neoclásica keynesiana no reconoce las implicaciones de los sumideros ambientales debido a que en el modelo neoclásico no existe ni entradas ni salidas del sistema, sin la incorporación de materiales originarios de la naturaleza, ni tampoco un proceso económico que no genere desechos, peor aun la disipación de la energía.

Según Hardin (1993), La segunda ley de la termodinámica también se ve soslayada por los economistas neoclásicos al considerar la venta de los recursos naturales no renovables como ingresos positivos, sin considerar que los países pueden estar extinguiendo sus reservas de oro, plata, cobre, petróleo, ect, y seguir considerando positivos los ingresos⁴⁵, por lo tanto la maquina de movimiento perpetuo es un falacia.

La segunda ley de la termodinámica, según el principio de Kelvin-Planck implica que no existe un proceso cuyo resultado sea la absorción de calor de una fuente y la conversión íntegra de este calor en trabajo, criterio dado como conclusión de los estudios de las maquinas de vapor, rendimiento y mejoramiento tecnológico de las mismas.

La segunda ley de la termodinámica, nos muestra las restricciones de utilizar elementos de diferente energía interna en los procesos, presentándose tres formulaciones sobre energía: (i) el calor no fluye, por sí mismo, de un cuerpo frío a uno más caliente, (ii) es imposible tomar calor de un recipiente y convertirlo completamente en trabajo sin que se produzcan otros cambios en el sistema o en sus alrededores, (iii) en cualquier proceso que se lleve a cabo en un sistema aislado, la entropía del sistema puede ser constante (proceso reversible), o bien aumentar (proceso irreversible). La

⁴⁵ De igual manera sucede con los productos agrícolas, debido a las prácticas agrícolas degradantes de erosión de las tierras de cultivo y seguir mostrando ingresos positivos.

entropía de un sistema aislado y del universo entero tiende hacia un máximo (Blatt, 1991).

La entropía fue introducida por R. Clausius en el siglo XIX, quien formuló que no es posible proceso alguno cuyo único resultado sea la transferencia de calor desde un cuerpo frío a otro más caliente. Así se llegó al concepto de entropía que es una medida de la cantidad de restricciones que existen en un proceso y además determina la dirección de dicho proceso, es decir la entropía es la medida de la cantidad de desorden del sistema.

La entropía es una función de estado, $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = 0$ (reversible), donde ΔQ es el calor suministrado al sistema y T es la temperatura del proceso isotérmico. Clausius, según Blatt (1991), demostró que si un sistema cerrado sufre cambios irreversibles, el valor de ΔS aumentará⁴⁶.

Una probable respuesta de esta tendencia al desorden de los sistemas se relaciona con las moléculas implicadas en los procesos, que sugieren la irreversibilidad de los mismos, al encontrarse cerca del estado de equilibrio. La expresión de Boltzmann relaciona la entropía con el trabajo.

$$S = k \ln W \quad (26)$$

Donde k es la constante de Boltzmann, según Blatt (1991), W es el número de microestados y S es el número de macroestados de donde obtenemos los grados de desorden de un sistema aislado, el grado de desorden tiende a una alta entropía y una degradación de la energía.

La segunda ley de la termodinámica concluye que todos los sistemas aislados, y el universo completo, tienden hacia el máximo desorden (Blatt, 1991), planteando la

⁴⁶Si tenemos un sistema cerrado donde interactúan dos objetos, uno frío y otro caliente, la entropía del cuerpo caliente (C) cambia hasta el cuerpo frío (F) según nos muestra la ecuación siguiente:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T_F} - \frac{\Delta Q}{T_C} = \Delta Q \left(\frac{T_C - T_F}{T_C T_F} \right); T_C > T_F$$

La ecuación, manifiesta, el cambio de la entropía debe ser positivo, lo que nos permite concluir que un sistema o proceso que no se encuentre en equilibrio térmico, da como resultado un aumento de la entropía, es decir una tendencia al desorden del sistema.

imposibilidad de convertir el 100% de la energía térmica en trabajo útil, es decir, la calidad de la energía se va deteriorando o degenerando en un proceso irreversible.

Como ejemplo podemos observar los procesos naturales de las plantas. La degradación de la energía solar se manifiesta en la fotosíntesis y una parte muy importante de esa energía sale del sistema en forma de calor.

Precisamente la segunda ley de la termodinámica nos interesa de forma especial por las implicaciones en los sistemas económicos. Este aspecto es abordado en el siguiente apartado.

2.2 La entropía y los procesos económicos.

El término entropía proviene de dos voces griegas “*tropos*” que quiere decir cambio o evolución y “*en*” que significa interno, por tal motivo la segunda ley de la termodinámica es una ley de evolución.

La economía tradicional descansa en una analogía mecanicista, donde las formulaciones teóricas se basan en sociedades atomísticas, donde la racionalidad de los individuos, tanto consumidores (conjunto de preferencias) como productores (conjunto de bienes), buscan resolver el problema de satisfacer los deseos de consumo (curva de demanda) y del mismo modo, los deseos de venta (curva de oferta).

El fin de la economía tradicional es impulsar las fuerzas de maximización de beneficio o minimización de costos, que se fusionan en un solo escenario gobernado por la armonía y la optimización de la producción conocido como mercado (Carpintero, 1999).

Por tanto el objetivo principal de la economía (en especial la neoclásica capitalista), se reduce a encontrar la forma de satisfacer los deseos por medio de los precios de equilibrio, en definitiva reduciendo su estudio al campo meramente técnico, bajo supuestos y fuerzas de mercado (Hernández, 2007).

Debemos comprender que el ser humano se manifiesta desde el paradigma de que el mundo natural es menos ordenado, debido a ello se debe conquistar la naturaleza para ordenarla, con una visión de recursos abundantes e inagotables.

Un ejemplo es el cambio del consumo energético de la leña pasando por el carbón hasta el petróleo, pero preguntémonos ¿por qué razón? En el periodo de 1960-1995 se produjo la mayor depredación de los bosques naturales, sin necesidad de uso de biomasa como combustible. Una posible explicación es la ampliación de la frontera agrícola o el incremento de la carga humana en el planeta, sin pensar en su temporalidad.

La crítica principal desde la Economía Ecológica, es el hecho de que la economía considera un flujo circular de un tomador de insumos que los transforma en productos, sin tomar en cuenta de donde proceden esos insumos, como se transforman o usan en el proceso y cuáles son las externalidades de dicho proceso y más que nada, a los sumideros donde llegarán.

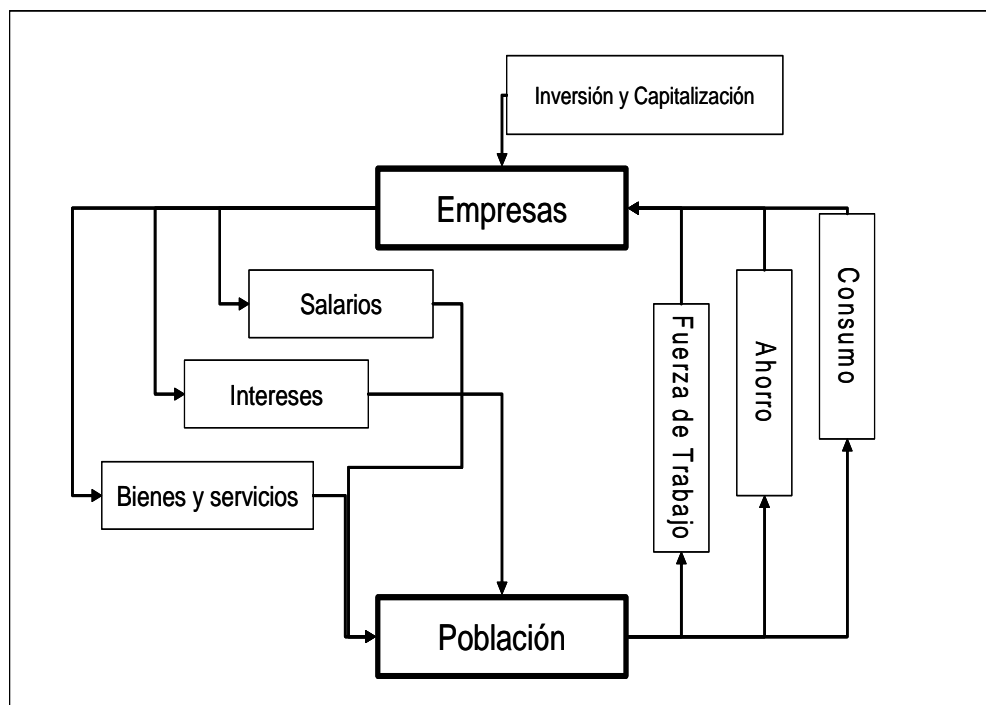
La forma neoclásica de mostrar la producción, excluye factores importantes dentro del proceso, como sería la resiliencia de los ecosistemas⁴⁷ y la degradación de la energía, otro de los argumentos a rebatir es no tomar en cuenta que la fuerza humana y el capital funcionan con energía⁴⁸, y olvida el limitado poder de asimilación de los ecosistemas naturales en la degradación de los residuos y desperdicios, resultantes del proceso económico.

Según Georgescu-Roegen (1971), la principal queja es la del “homo oeconomicus”, donde se despoja al ser humano de toda propensión a la cultura y considera a los individuos y a su vida económica con un sentido netamente mecánico (modelo ortodoxo de la economía Fig. 1).

⁴⁷la resiliencia es la facultad de los ecosistemas de degradar los desechos y convertirlos en sistemas de baja entropía y desestabilizando la base ecológica..

⁴⁸ Los seres humanos consumen energía en forma de alimentos, y el capital energía del sol, electricidad, carbón, petróleo.

Figura 1.- Modelo Ortodoxo de la economía



Fuente: Avellaneda (2002)

Este sentir de la economía sobre el proceso económico, mecanicista y físico, llevó a considerar a la economía como un sistema aislado o circular donde todo lo producido es consumido y por consiguiente considerado reversible, un movimiento pendular, según Carpintero (1999), que no altera el entorno, autosuficiente y reversible en tiempo y espacio.

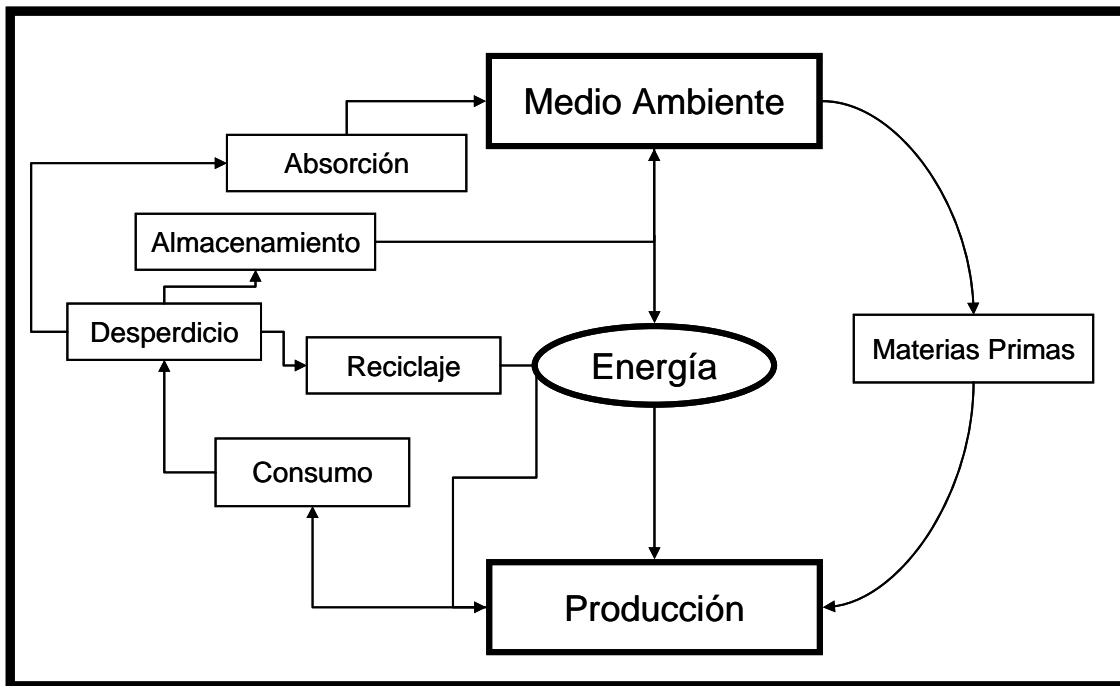
El proceso económico se basa en la transformación de insumos en productos, y la entropía describe la pérdida de la calidad de la materia una vez transformada a lo largo del tiempo, es decir tomamos recursos de alta calidad y los convierte en productos de baja calidad en función de utilidad energética.

Carpintero (1999) también señala que las relaciones entre la termodinámica y los procesos económicos deben considerarse desde diversos momentos de la historia económica. La primera ley de la termodinámica afirma que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma, dando las bases en economía para considerar los procesos como un proceso circular y cerrado, que va desde la producción al consumo, autoalimentándose a sí mismo.

Complementaria a la primera ley, la segunda ley de la termodinámica (ley de entropía), aporta al proceso económico el hecho de la transformación de la energía es

unidireccional, es decir, se procesa desde una energía disponible⁴⁹, de alto valor energético, hacia energía no disponible o disipada⁵⁰, de bajo valor energético y nunca viceversa. (Modelo termodinámico Fig. 2)

Figura 2.- Modelo termodinámico o Reloj verde



Fuente: Avellaneda (2002)

La figura 2 muestra el reloj termodinámico, que define la velocidad a la que un sistema se aproxima al umbral entrópico, el mismo que es irreversible. En otras palabras, muestra una degradación en términos energéticos.

Los modelos/diagramas de Howard T. Odum hay sumideros a cada paso en un proceso de producción. Se puede decir que no existe “producción” apenas transformación de energía y materia en camino al sumidero, directamente en las fábricas o indirectamente con pausas en una etapa de bien que se desgasta.

La ley de la entropía, según Georgescu-Roegen (1971), se entiende como un índice relativo de energía no disponible en un sistema aislado que aumenta constantemente, es decir la energía transformada nunca es eficiente al ciento por ciento,

⁴⁹ Energía disponible, es aquella que los seres humanos utilizan ya sea en procesos antrópicos o heterótrofos que puede ser medida y valorada

⁵⁰ Energía disipada, es energía perdida, es decir una vez utilizada no se puede volver a convertir en trabajo. Este postulado destruye el axioma del movimiento continuo.

poniendo de manifiesto lo limitado del progreso técnico como remedio a la escasez de energía y materiales:

“no solo son finitos los recursos accesibles, sino que también la ley de la entropía fija un límite definido a la eficiencia que puede alcanzar el progreso tecnológico. La tecnología más avanzada no puede obtener de un pedazo de carbón más trabajo útil que la energía libre y contenida, y en verdad ni siquiera eso”, Georgescu-Roegen (1971: 268).

La termodinámica según Vogel (1989), tiene dos cualidades ausentes de los estudios económicos, la temporalidad y la mensurabilidad. El factor de tiempo se incorpora en la degradación de la energía como fenómeno irreversible, mientras que el factor de mensurabilidad es la posibilidad de cuantificar los cambios en la energía y los flujos de materiales que son un producto de los procesos económicos-productivos.

Por el avance de tecnologías y empresarialismo, hay efectos de amplificación que acelera los flujos de energía y materia hacia los respectivos sumideros. En si, el concepto de empresarialismo como un factor de producción en el modelo económico neoclásico, se puede entender como una cuestión de proporción de amplificación en los flujos energéticos/materiales (Vogel 1989).

La ley de la entropía no se liga al tiempo en su concepto mecánico, la entropía predice que los cambios del universo serán mayores en un tiempo $t+1$, en términos cualitativos, aunque su falencia se explica en la impotencia de conocer dichos cambios en términos cuantitativos. (Georgescu-Roegen, 1996).

La irreversibilidad⁵¹ es una característica de la entropía que pueden tomar dos formas: procesos revocables e irrevocables. Los revocables son aquellos que se repiten sin necesidad de revertir el proceso, aun cuando los entornos cambien irreparablemente⁵², mientras que los procesos irrevocables son aquellos que no pueden recuperarse de ningún modo y no ocurren más de una vez.

Van Valen (1973), con su estudio de curvas de supervivencia, demostró que las mismas tienden a ser líneas rectas, debido a que con el aumento poblacional las tasas de

⁵¹ Proceso irreversible, aquel que no puede regresar a su fase anterior en orden inverso

⁵² Se observa en los ecosistemas recuperados o reforestados, no vuelven a su estado original después de recuperados por los ambientalistas.

supervivencia no cambian, sino por el contrario es el medio físico limitado el que provoca la extinción, a esta hipótesis se le conoce como la Reina Roja, que sugiere que las mejoras evolutivas de una especie significa ventajas competitivas sobre otras especies, obteniendo de este modo mayor captación de recursos disponibles, este movimiento coevolutivo obliga a que las otras especies a mejorar su diseño, esto significa que todas las especies tienden a ser mejores, sin embargo, mantienen la misma cantidad de recursos limitados por el espacio físico y la energía

La escasez en el proceso entrópico surge del aumento de la entropía, que resulta en menos materia susceptible de ser transformada en objetos útiles para el ser humano y es diferente al término económico de escasez, por cuanto se refiere a términos monetarios (Carpintero, 1999). Por ejemplo la disminución de la calidad de los recursos naturales, o la destrucción de elementos indispensables como materia prima para los procesos productivos, la pérdida de la fertilidad de la tierra o la explotación de campos acuíferos, pueden dar como resultado la escasez en términos entrópicos y también en términos monetarios.

Hardy (1998), citando a Lord Kelvin, conocido por sus estudios sobre la entropía en el medio ambiente, manifiesta que (i) existe en el mundo material una tendencia universal a la disipación de la energía mecánica, (ii) todo reestablecimiento es imposible, (iii) en un periodo de tiempo futuro, la tierra será inhabitable para el hombre y tal vez para microorganismos. (Venus como ejemplo de calentamiento galopante).

Rifkin (1980) ha popularizado el concepto de entropía y manifiesta que el contenido total de energía es constante y que la entropía total aumenta continuamente, debido a la tendencia al desorden de la naturaleza ya sea por eventos endógenos o exógenos provocados por el ser humano.

Para poder mostrar las interacciones existentes entre los componentes de un proceso productivo y los cambios cualitativos, Georgescu Roegen (1971), demostró mediante una función dependiente del tiempo que las cantidades de insumos que cruzan la frontera productiva, desde un momento $[0, T]$, se convierten en una función de producción funcional, es decir, una relación entre funciones dando lugar a un modelo de flujos-fondos.

Se realiza una distinción clara de las funciones que tienen carácter de flujo de aquellas que tienen un comportamiento de fondos. Los elementos de fondo son la tierra $L(t)$, el capital $K(t)$, y la fuerza de trabajo $H(t)$. Los elementos de flujo son los inputs del proceso productivo: (i) recursos naturales $R(t)$, (ii) los materiales procedentes de otros procesos $I(t)$, (iii) los flujos para mantenimiento del capital $M(t)$. Los flujos de outputs del proceso productivo a su vez son la salida de productos $Q(t)$, y los flujos de residuos $W(t)$, convirtiéndose en la siguiente expresión neoclásica.

$$Q_0^T(t) = F[R_0^T(t), I_0^T(t), W_0^T(t), M_0^T(t), L_0^T(t), K_0^T(t), H_0^T(t)] \quad (27)$$

En la ecuación 27, 0 a T es la variación en el tiempo, debemos comprender algunos argumentos que son novedosos, como la concepción del tiempo (que permite clasificar los procesos productivos en virtud de la utilización temporal de los factores productivos) y la relación de los procesos físicos; de allí la importancia de captar recursos de baja entropía y transformarlos en bienes y residuos de alta entropía, según manifiesta Georgescu-Roegen (1971).

Avellaneda (2002) manifiesta que la producción genera desechos que se depositan en los ecosistemas superando poco a poco su capacidad de resiliencia, lo que termina provocando crisis ambientales, que repercuten en crisis energética y por último conlleva a una crisis económico-financiera.

Debemos comprender que todo traslado de material acelera el cambio ecológico de los ecosistemas, y por lo tanto es preciso reconocer y profundizar los cambios cualitativos⁵³ relacionados con la ley de la entropía, el principal argumento a considerar es la irreversibilidad de la degradación entrópica y su disputa con la conservación de la vida.

De allí podemos enunciar la evolución exosomática⁵⁴ manifestada por Goergescu-Roegen (1998), que ocasiona dos cambios fundamentales e irrevocables en el ser humano.

⁵³ Debido a que los cambios cualitativos por la segunda ley de la termodinámica es imposible cuantificar su valor.

⁵⁴ Instrumentos producidos por el hombre pero que no pertenecen a su cuerpo.

El primero es la irreducible tendencia al conflicto social que caracteriza a la especie humana. Para la naturaleza, por el contrario, existen especies que conviven en sociedad junto con el ser humano y están libres del conflicto social, como las abejas, las mismas que realizan matanzas periódicas de los zánganos, como una acción biológica y no una guerra civil.

El segundo cambio y no menos importante, es la adición del hombre por los instrumentos exosomáticos, donde se manifiesta que la supervivencia del ser humano no es solo biológica ni económica, sino también bioeconómica (Georgescu-Roegen, 1998).

Para Georgescu-Roegen (1996), el origen del conflicto social en todas las épocas de la historia de la humanidad está en la lucha por la materia y por la posesión de instrumentos exosomáticos⁵⁵.

La evolución exosomática es el progreso de la eficiencia de la energía de las herramientas utilizadas y del equipo de capital que emplean los organismos vivientes y como resultado les permite reducir su consumo endosómico de energía libre (Araujo, 1998). Como ejemplo podemos comprender las luchas entre culturas y las guerras civiles de las ciudades estados, según manifiesta Martinez-Alier (1991), que en base a estudios econométricos y de la teoría económica, afirma que la elasticidad del ingreso consumo endosómico de energía es bajo, principalmente en los quintiles altos de ingreso, mientras la elasticidad ingreso del consumo exosomático es altísima, por ordenes de magnitud, Del punto de vista del sumidero, eso quiere decir que los quintiles altos utilizan a los quintiles pobres, para aumentar su ingreso consumo, ocasionando los conflictos socialmente –distributivos.

La idea de una paradoja de Jevons acunado en el siglo XIX, quien demostró que aumentar la eficiencia disminuye el consumo instantáneo pero incrementa el uso del modelo que provoca un incremento del consumo global, es decir si realizar un producto resulta en una disminución de energía es decir mayor eficiencia, ya sea en su fase productiva o en su consumo, el ahorro asociado a ese producto, conlleva que al final se

⁵⁵ Se explica por las diferencias en el consumo energético entre ricos y pobres, sin contar el aporte del consumo energético directo en la alimentación

aumenta la producción de ese producto y por ende su demanda, superando el ahorro energético generado.⁵⁶

Para ello podemos considerar que el desarrollo se dará principalmente cuando se optimicen las fuentes generadoras de riqueza energética, el stock finito de recursos naturales no renovables (ricos en energía) y el flujo de radiación solar (fuente inagotable).

Martinez-Alier (1991), considera que el capital solo puede gastarse por la ley del continuo decrecimiento, por tal motivo, la mayor parte de las inversiones financieras, en sentido físico, aumentan la destrucción de los recursos no renovables.

Para Soddy citado por Martinez Alier (1991), una tasa alta por el pago de ahorros, solo puede ser pagada si se convierten en inversiones de alto rendimiento, en otras palabras, el crecimiento económico se debe principalmente a una alta tasa de destrucción de los recursos no renovables.

Debemos tener en cuenta además, a autores como Richard Norgaard y James Swaney según cita MartinezAlier (1991), que son los detractores de la ley de la entropía, los mismos que basándose en la ley de la evolución, manifiestan que las fuentes de la vida, han aumentado en forma espontánea, y por medio de la lucha y trabajo, han logrado una mejor adaptación a las condiciones ambientales.

La bioeconomía estudia la apropiación del ser humano de la energía proveniente del sol y su posterior utilización en los procesos económicos, como una respuesta a la reducción de los niveles de energía de combustibles fósiles y la degradación de los ecosistemas.

En resumen, las interrelaciones de la ley de la entropía en el sistema económico son de dos tipos: (i) todo sistema no aislado está sujeto al deterioro entrópico, (ii) la economía humana es un sistema complejo que no crece y por tanto depende de otros sistemas para su crecimiento, los cuales, a su vez, dependen de su capacidad de asimilación.

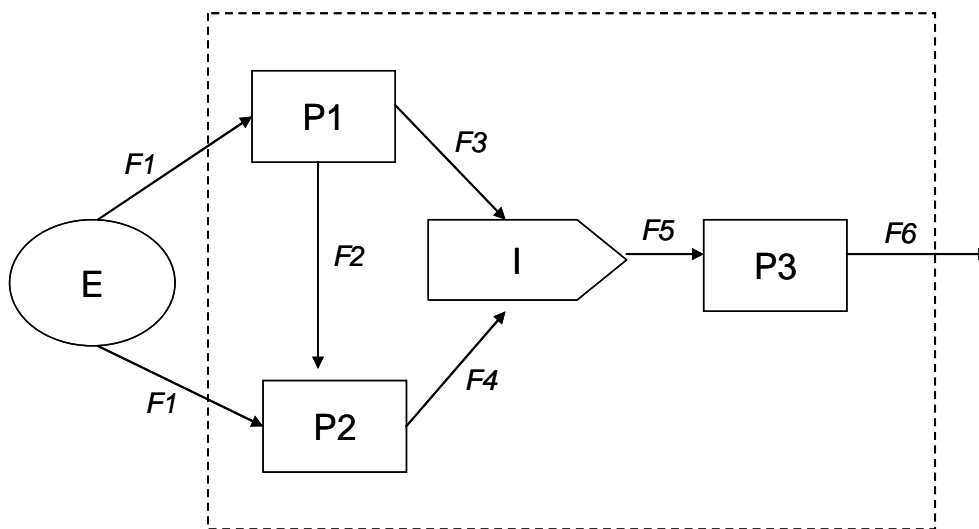
⁵⁶ Resulta interesante en este análisis donde como ejemplo implica que los precios de los bienes se basan en los precios de la energía y su respectiva elasticidad, por ejemplo una disminución elástica de los precios de la energía equivale a un aumento del consumo de esa energía, es decir invierte el efecto deseado

2.3 La Energía y los Ecosistemas.

Los ecosistemas son las unidades funcionales básicas, en las cuales existe una convivencia de los organismos y el medio abiótico⁵⁷ en el lapso de tiempo geológico, que interactúan independientemente influyendo uno sobre el otro y complementando las propiedades en conjunto. Esta misma interacción es necesaria para el mantenimiento de la vida (Odum, 1986).

Existen modelos funcionales de ecosistemas que se estudian en Economía Ecológica, los mismos que plantean las siguientes variables; (i) fuente de energía o la llamada función de forzamiento exógeno, (ii) propiedades llamadas variables de estado, (iii) vías de flujo, donde se establecen las relaciones entre las propiedades y las fuerzas externas, (iv) funciones de interacción, donde se entrelazan o actúan, las fuerzas y las propiedades para modificar, ampliar o controlar los flujos o crear nuevas propiedades emergentes⁵⁸, según la Figura 3 (Odum, 1986).

Figura 3. Diagrama de compartimientos de modelos de sistemas ecológicos



Fuente; Odum (1986)

En la Figura 3 se muestra el sentido de la energía (E), el mismo que en un ecosistema se mantiene en una sola dirección según las leyes de la termodinámica. Las propiedades primarias del ecosistema (P1, P2), su flujo de energía (F) y la interacción (I) de las propiedades, originan una nueva propiedad emergente (P3). Las propiedades

⁵⁷ Componentes que no se supone como vida integral son componentes de materia y energía (tierra)

⁵⁸ Al combinarse los componentes o subgrupos para producir entidades funcionales de mayores dimensiones, emergen nuevas propiedades que no se encontraban presentes en el nivel inmediato inferior

emergentes dan como resultado un saldo de flujo de energía que se manifiesta a través de calor, fotosíntesis o comida el caso de los agroecosistemas. Es decir todo el proceso nos permite obtener los productos de las transformaciones energéticas.

Para los ecosistemas la energía solar es fundamental pero además es unidireccional. Esta energía recibida por el sol se modifica, la misma que se convierte, una parte en energía de mayor calidad⁵⁹, y la otra parte restante (la mayor parte) se degrada y pasa al sistema en forma de energía calorífica de baja calidad.

La tierra en su conjunto es bombardeada por dos flujos energéticos principales: (i) la radiación solar, donde cada segundo la tierra recibe 1.353 joules de energía por cada metro cuadrado, (ii) la energía interna del planeta, donde se recibe 0,039-0,078 joules por metro cuadrado, de allí que debemos considerar la energía solar como una fuente primordial de energía, que a través de las plantas nos proveen de alimento, el mismo que en los seres humanos se convierte en combustible para sustento de la vida (Araujo, 1998).

Por eso es necesario reconocer que los ecosistemas son sistemas abiertos donde existen un ambiente de entrada y un ambiente de salida, los mismos que son necesarios para el funcionamiento del ecosistema y se pueda de este modo auto sostener.

Los ecosistemas se estructuran en dos grandes estratos; (i) la estructura autótrofo, superior, llamada faja verde⁶⁰, (ii) y el estrato heterótrofo, inferior, llamada la faja café⁶¹, de allí nace la hipótesis de Gaia⁶² propuesta por Lovelock⁶³ en 1979, que sostiene que los organismos, en especial los microorganismos (plantas y animales), han evolucionado con el medio ambiente físico para lograr un sistema de control complejo, que mantiene las condiciones de la tierra favorable para la vida (Odum, 1986).

La atmósfera terrestre es peculiar en comparación con los planetas vecinos debido a su rara composición de un alto contenido de oxígeno y bajos niveles de dióxido de carbono (el mismo porcentaje que con el calentamiento global y la depredación de los bosques y ecosistemas primarios están cambiando).

⁵⁹ Energía de mayor calidad es aquella que transforma en materia orgánica es decir una fuente de energía mas concentrada, que la energía proveniente de la luz solar

⁶⁰ Faja Verde: predomina la fijación de la luz solar para la transformación de sustancias simples en sustancias mas complejas por medio de la clorofila.

⁶¹ Faja Café: suelos o sedimentos, materia en descomposición en las que predomina la utilización y reorganización y descomposición de materiales complejos.

⁶² Gaia, diosa griega de la tierra

⁶³ James Lovelock, físico e inventor ingeniero que junto con la microbióloga Lynn Margullis, que explican la hipótesis de Gaia en libros y artículos

Esta composición atmosférica mantiene una temperatura moderada y las condiciones de pH en la superficie de la tierra, características que no serían posibles sin la actuación de microorganismos que contribuyen al equilibrio de Gaia.

Los humanos al tratar de satisfacer sus necesidades están modificando su ambiente físico, destruyendo los componentes bióticos necesarios para la existencia fisiológica y perturbando los equilibrios globales. Mientras más tecnológicos y avanzados seamos, más energía necesitaremos, lo que provocará un mayor deterioro de los ecosistemas, de allí la importancia de descubrir y preservar los controles que permitan a la biosfera ajustarse intertemporalmente (Odum, 1986).

Los ecosistemas contrarrestan la ley de la entropía en sus propios procesos, por ejemplo las plantas captan la energía solar por medio de la fotosíntesis y la utilizan para dar energía para el crecimiento, crean orden por lo que la entropía disminuye (Avellaneda, 2002), mientras el ser humano no.

Yankelovich (1981) manifiesta que los sistemas físicos y biológicos son característicamente estables, mientras los sistemas humanos generan inestabilidad⁶⁴.

Para Richard Adams (1978), considera que todo evento en la historia solo ocurre cuando se tiene disponible una cantidad de energía para que se realice, es decir la evolución social de la humanidad ha requerido de mayor cantidad de energía disponible, y el desplazamiento de una sociedad por otra se da por el uso de mayor cantidad de energía, en pocas palabras utilizando materiales de alta entropía.

Al ser los ecosistemas un sistema abierto debemos comprender como se manifiesta ese cambio total entrópico, $ds = des + dis$, donde des , es la producción entrópica debido a procesos irreversibles en el sistema por reacciones ya sean químicas físicas o temporales las mismas que siempre son positivas, y dis , es el transporte entrópico es decir un cambio de entropía por importación de calor que puede ser positivo y negativo.

La segunda ley de la termodinámica se relaciona con la transferencia de energía hacia estados menos disponibles y más dispersos, el sistema solar se manifiesta en su estado más disperso en el planeta en forma calórica, por tal motivo podemos considerar que el calor suministrado por el sol es la degradación de su sistema potencial.

⁶⁴la inestabilidad es la condición dinámica de mayor probabilidad que altera con estados transitorios de tipo estable

Los organismos y los ecosistemas incluidos en la biosfera, trabajan con procesos termodinámicos. Esta transferencia energética confluye en un equilibrio de sus funciones y crean un alto grado de orden interno, en otras palabras, una condición de baja entropía (Odum, 1986).

La energía del sol al llegar al planeta tiende a degradarse en forma de calor, solo una pequeña parte es absorbida por la plantas verdes y se transforma en energía potencial, esta misma energía es la que analizaremos por su importancia en la producción primaria neta de los ecosistemas.

2.4 La Radiación Solar y La Producción Primaria Neta (PPN).

La energía que ingresa al planeta en su superficie terrestre como luz visible es equilibrada por la energía que sale de dicha superficie como radiación térmica invisible.

La entrada diaria de luz hasta la capa austrófa, varía entre $100-800 \frac{gcal}{cm^2}$, dependiendo de la nubosidad del día y la consideración de latitud en la que nos encontramos con un promedio de $300-400 \frac{gcal}{cm^2}$, gracias a la atenuación de gases atmosféricos y el polvo cósmico (Odum, 1986).

Para Odum y Sarmiento (1998), los ecosistemas tienen dos componentes básicos, el autótrofo, capaz de fijar energía luminosa y producir alimento a partir de sustancias orgánicas y el componente heterótrofo, el cual distribuye y descompone las materias complejas.

El argumento principal de la existencia de los ecosistemas es la transferencia de energía a los alimentos y de ellos a los demás seres de la naturaleza en especial los seres humanos.

La *producción primaria neta* sirve para designar la cantidad de materia orgánica fijada⁶⁵ por el proceso autótrofo en la superficie, lo que se calcula en forma anual o diaria. De allí la importancia de cuantificar y cualificar los servicios de los ecosistemas y poder interpretar las presiones ambientales que el ser humano mantiene en conflicto con la biosfera.

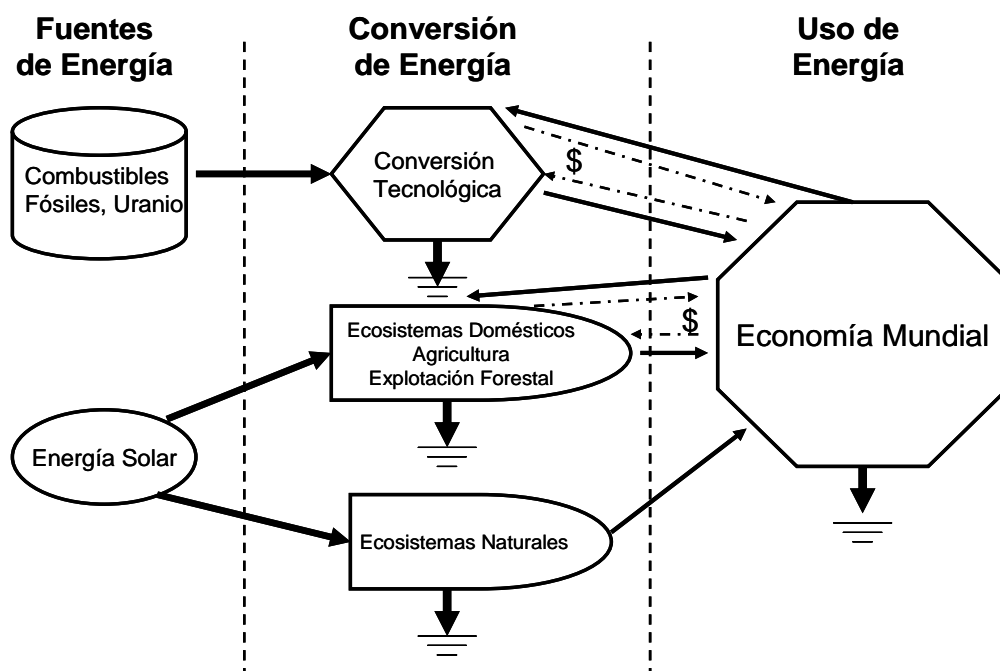
⁶⁵ Conversión a través de la energía solar y la fotosíntesis, en forma de productos cosechables donde podemos alimentar a los seres humanos y animales domésticos.

Según Irazabal (2001), los principales valores que un ecosistema puede ofrecer tanto los *valores de uso directo*, que por la desagregación de sus componentes pueden ser valorados, como los valores de *uso indirecto*, que permiten entregar las funciones de los ecosistemas necesarias para la vida en el planeta. El problema es que estas funciones no son estimadas de forma correcta, y peor aún, la rama de la teoría neoclásica que se encarga del medio ambiente (Economía ambiental), los subvalora por métodos económicos.

Por último están los valores de opción, que presenta atributos de los diferentes ecosistemas que son legados que se deben calcular de forma ínter-temporal, por su herencia para generaciones futuras y su importancia de existencia.

Carpintero (2007) manifiesta que la sostenibilidad debe ser vista en forma de escala del sistema económico dentro de la biosfera, una forma de mostrar esa relación es cuantificar los flujos de energía que pasan de la biosfera⁶⁶ al sistema económico en forma de energía por los procesos de los recursos renovables a través de la fotosíntesis.

Figura 4.- Ecosistemas y Economía



Fuente; Odum (1986) Energía y Economía Mundial sumideros en las diagramaciones de Odum.

En la figura 4 observamos los procesos en los cuales los seres humanos usan fuentes de energía que provienen especialmente de los ecosistemas, mientras que los

⁶⁶ Ecosistemas terrestres marinos y aéreos

únicos valorados, son aquellos ecosistemas artificiales y domésticos. Éstos generalmente se refiere a los agro-ecosistemas necesarios para la entrega de energía a través de los alimentos.

Al contrario de los ecosistemas artificiales, los ecosistemas naturales no obtienen flujos de dinero directos, por el motivo de que sus funciones de uso indirecto no pueden ser valoradas, debido a la incapacidad del ser humano de cuantificarlas. Sin embargo, debemos considerar su importancia en la provisión de la vida, y además valorar los daños ambientales provocados por los sumideros de desechos provenientes de los procesos económicos.

La radiación solar directa integral que recibe el estrato autótrofo (plantas verdes) cada año, mes y día, permite cuantificar la productividad y los ciclos de nutrientes del ecosistema, según tratamos en la tabla 1.

Apenas el 1% de la energía del sol, es convertida por medio de los ecosistemas en alimentos y en biomasa, mientras que el 70% de la energía del sol se transforma en calor, evaporación, precipitaciones, los cuales favorecen la vida debido al control climático y creación a sistemas hídricos (tabla 1). Sin embargo, los valores de energía de los mares y del planeta en general son valores no considerados, debido al alto costo de las inversiones que significaría su apropiación y su baja aportación energética.

Tabla 1.- Disipación de la Energía Solar

Energía Solar	Porcentaje
Reflejada	23.0000
Conversión en calor	46.0000
Evaporación y precipitación	23.0000
Vientos, olas y corrientes	0.2000
Fotosíntesis	0.8000
Energía de Mareas	0.0017
Calor Terrestre	0.5000

Fuente; Odum (1986) cita a Hullbert (1971)

La productividad primaria de un sistema ecológico, se manifiesta como la rapidez de transformación de la energía radiante del sol, en sustancias orgánicas por acción de la fotosíntesis o quimiosintética de organismos productores.

Un proceso de producción se basa en cuatro pasos sucesivos: (i) la producción primaria bruta, (ii) la producción primaria neta, (iii) la productividad neta de la comunidad, y (iv) la producción secundaria, que es donde los seres humanos y animales se aprovechan de los productos resultantes de la transformación de la energía del sol por medio de la fotosíntesis, entendida como la fertilidad o riqueza de un ecosistema.

Debemos comprender de donde nace la producción primaria neta (ppn), y su diferencia con la producción primaria bruta (PPB). Apenas el 50% de la energía solar es absorbida por las plantas, de ésta, un promedio del 5% se transforma en fotosíntesis (Hildebrando, 2004), y por razones de la respiración vegetal se reduce en un 20%. El resto es la cantidad de alimento que la planta entrega como producto de su crecimiento.

$$PPN = PPB - R_A \quad (28)$$

La ecuación 28, nos muestra como la producción primaria neta (ppn), se relaciona con la producción primaria bruta (PPB) restándole la respiración autótrofa de las plantas (RA).

La importancia de controlar el decrecimiento o el crecimiento de la ppn, en sus diferentes ecosistemas, ya sean estos naturales o modificados, nos permite mantener una medida que demuestra la tendencia al desorden de los seres humanos.

Para ello controlar la relación con los diferentes factores de crecimiento económico y la ppn, nos entregan una aproximación para evidenciar cual es el factor que más influye en la tendencia al desorden del ser humano.

El sistema mecánico de los procesos manifiesta que el campo fenomenológico está compuesto de la locomoción, y por lo tanto no existe un cambio irrevocable en la naturaleza (Georgescu-Roegen, 1971).

Los economistas neoclásicos dejan fuera de la representación de los procesos económicos a los recursos naturales, de allí el pensamiento del dogma marxiano donde manifiesta que todo lo que nos ofrece la naturaleza es gratuito, es decir se omiten las aportaciones, los rendimientos, y los beneficios que la misma ofrece al proceso económico como el crecimiento de los países (Georgescu-Roegen, 1971).

De allí que Georgescu-Roegen (1971), manifiesta que la revolución se inicia cuando los físicos reconocen la dirección del calor en un solo sentido, por lo tanto, se

considera la ley de la entropía en la relación con los procesos económicos, como un análisis de íntima relación de aspectos categóricamente cualitativos, esta es la piedra angular de la crítica contra las hipótesis neoclásicas, pues miden lo que esta transmutando.

Debemos comprender además que el cambio que experimenta la materia y la energía se debe principalmente a un cambio cualitativo, los estudios de la degradación de los ecosistemas manifestada por la pérdida de producción primaria neta (ppn), es decir el ser humano utiliza los ecosistemas destruyéndolos y se manifiesta en una disminución de ppn.

La importancia de colocar los ecosistemas en un proceso productivo es significativo debido a que al inicio la energía es libre, dado que está disponible, a medida que el ser humano se apropia de la energía esta se transforma, perdiendo la cualidad de disponible, y convirtiéndose en energía disipada.

La producción primaria neta nos ofrece una aproximación bastante aceptable sobre la tendencia del ser humano hacia el desorden, en otras palabras colocar la entropía en una degradación de ecosistemas, según manifiesta Georgescu-Roegen (1971: 268), *“En la naturaleza hay una tendencia constante a que el orden se convierta en desorden”*. Por ello debemos considerar a la entropía como una medición del grado de desorden.

El crecimiento económico es la medida mediante la cual el producto interno bruto (PIB) aumenta o disminuye porcentualmente, y es considerada como una medida de bienestar de la población de un país o región económica.

El crecimiento económico se considera beneficioso para el bienestar de la población, pero debemos tener en cuenta que el mismo no considera las externalidades que el aumento del PIB genera, sobre los recursos naturales y especialmente con los ecosistemas que proveen a través de sus servicios; biomasa, provisión de agua, producción de alimentos, etc. Un plus fundamental para el crecimiento de la población y por razón teórica, mayor bienestar poblacional.

Los ecosistemas por su capacidad de captar la energía solar a través de la fotosíntesis y transformar la misma en productos complementarios, son fundamentales para el crecimiento sostenible de una población.

En el Ecuador los ecosistemas más importantes son:

Bosques nacionales; la deforestación de los bosques se debe considerar desde una visión integral por la importancia de los mismos en la cobertura terrestre y su incidencia dentro de la regulación del clima, caudales de agua y la biodiversidad que encierra en su entorno (Sánchez, 2006), los anteriores argumentos vistos desde el punto de vista ecológico, si colocamos nuestra visión desde el punto de vista socioeconómico, los bosques se constituyen una fuente de calidad de vida a los seres humanos que los habitan o los visitan (hedonismo), además de la importancia por sus productos forestales de alimentación y abrigo que proveen.

Manglar; los manglares son formaciones vegetales litorales, constituidos por terrenos costeros arbolados, bosques de marismas y arbustos que se desarrollan por debajo de la pleamar de las mareas vivas (CLIRSEN, 1999).

La actividad camaronera es uno de los mayores depredadoras de este tipo de ecosistema, de allí que el manglar es uno de los principales ecosistemas que mantienen una comunión con el ser humano.

Páramos; es un ecosistema tropical alto andino, caracterizado por una vegetación dominante no arbórea, que incluye fragmentos de bosques nativos propios de este ecosistema (Sánchez, 2006).

Luego del análisis realizado, pasando desde las definiciones teóricas de la energía y sus leyes, su relación entre la energía y los procesos económicos, considerando además la importancia de los ecosistemas y su relación con la ppn, debemos manifestar que los procesos que se realizan dentro de los ecosistemas se basan principalmente en un fuente inagotable de energía, el sol, que entrega su poder energético para los procesos de mantenimiento de vida de un ecosistemas y su importancia en la provisión de alimentos en los cambios de fluvidad de la tierra que contribuyen al proceso económico es indiscutible.

Los diferentes estudios realizados de la relación de la ppn con el deterioro de los ecosistemas también pueden ubicar su relación con los cambios económicos de los países.

Tal vez valga la pena mencionar algo con respecto al componente informacional en los genes que es un sustituto por información artificial. Así, si perdemos los servicios de ecosistemas por la extinción también perdimos productos industriales con bases de dichas pistas (de hecho, toda la biotecnología moderna tiene que agradecer TAQ, un termofílico que posibilitó la tecnología PCR.

CAPÍTULO III
EVIDENCIA EMPIRICA

Basándonos en los argumentos planteados en el anterior capítulo, vamos a realizar un análisis de la relación entre el crecimiento económico del Ecuador y la degradación de los ecosistemas, representada por la producción primaria neta (ppn), con el objeto de observar la correspondencia entre la evolución del PIB, con sus factores más importantes y la disminución del territorio de los ecosistemas primarios. Con ello pretendemos observar la correlación entre el crecimiento económico y el desarrollo sostenible.

De darse esta relación, nos permitirá encontrar una razón para desestimar los modelos económicos de corte neoclásico.

3.1 La Apropiación humana de la producción primaria neta en el Ecuador (1996).

Existen escasos estudios sobre el grado de apropiación de los reductos naturales por parte del ser humano en el Ecuador. Sierra (1999) realizó un levantamiento de información para calcular la ppn en el país. Para ello tomó en cuenta que la apropiación de recursos en el caso específico de cultivos de ciclo corto y cultivos de ciclo permanente (principales productos de exportación del Ecuador; banano, café, cacao, aceite de palma, etc.).

Tabla 2.- Cambios de uso de suelo 1996

Cambios Uso de suelo 1996			
Formación	Ha Cobertura	PPN Kg C Ha/año	PPN Kg
Pastizales	4,996,000	2,900	14,488,400,000
Cultivos Permanentes	693,722	6,110	4,238,641,420
Cultivos Ciclo Corto	1,744,452	1,261	2,199,753,972
			20,926,795,392

Fuente: Sierra 1999

La apropiación humana de la ppn demuestra la tendencia de extender la entropía producida por la sociedad ecuatoriana, pasando de ecosistemas que produce baja entropía como los ecosistemas naturales hacia ecosistemas que produce alta entropía como los cultivos intensivos en recursos ya sean estos proveídos por los mismos ecosistemas naturales.

En la tabla 3 podemos observar que el 39% de la tierra continental esta apropiada por el ser humano, siendo los bosques que existían en la costa ecuatoriana los más afectados con cerca del 80% de apropiación, seguido por los bosques nublados de la sierra con una apropiación de aproximadamente el 70%. Los bosques de la amazonia están en serio peligro de ser los siguientes en desaparecer por la voraz colonización propiciada por los gobiernos de turno que hasta el año 1996, se habían apropiado de cerca del 30% del total de bosques existentes en la región.

Considerando de esta forma la producción primaria neta y su cambio ya sea por cultivos de ciclo corto, ciclo permanente y pastizales, que bien o mal aportan de un menor grado a la ppn, se calcula que la apropiación se encuentra en cerca del 33% del total de ppn.

Cabe destacar que los datos son del año 1996, si consideramos que anualmente se pierden cerca del 1,6% de los bosques a nivel nacional en 14 años la pérdida de ppn se calcularía en cerca del 45% del total.

Tabla 3.- Apropiación humana de la producción primaria neta-Ecuador 1996

Formación natural	Cobertura Original	Remanente 1996	% Apropiacion	PPN año		PPN Na	PPN Re
	Ha	Ha		gm/año	Kg C Ha/año		
Manglar	269,900	142,779	47	793	7,930	2,140,307,000	1,132,237,470
Manglillo	8,242	7,760	6	793	7,930	65,359,060	61,536,800
Bosque siempreverde inundable de tierras bajas (guandal)	2,313	2,130	8	1,300	13,000	30,069,000	27,690,000
Bosque siempreverde de tierras bajas	3,171,000	581,264	82	1,300	13,000	41,223,000,000	7,556,432,000
Bosque siempreverde piemontano	1,141,727	420,208	63	1,300	13,000	14,842,451,000	5,462,704,000
Bosque siempreverde piemontano de las cordilleras costeras	404,263	159,999	60	1,300	13,000	5,255,419,000	2,079,987,000
Bosque siempreverde montano bajo de cordilleras costeras	15,714	10,587	33	1,300	13,000	204,282,000	137,631,000
Bosque de neblina montano bajo de las cordilleras costeras	62,293	34,194	45	1,300	13,000	809,809,000	444,522,000
Bosque semideciduo de tierras bajas	644,217	149,972	77	1,500	15,000	9,663,255,000	2,249,580,000
Bosque semideciduo piemontano	524,131	220,757	58	1,500	15,000	7,861,965,000	3,311,355,000
Bosque deciduo de tierras bajas	1,298,138	403,291	69	1,500	15,000	19,472,070,000	6,049,365,000
Bosque deciduo piemontano	63,399	41,460	35	1,500	15,000	950,985,000	621,900,000
Sabana	233,782	166,686	29	700	7,000	1,636,474,000	1,166,802,000
Matorral seco de tierras bajas	363,872	247,796	32	144	1,440	523,975,680	356,826,240
Herbazal de tierras bajas	20,716	9,715	53	290	2,900	60,076,400	28,173,500
Bosque siempreverde montano bajo de la cordillera occidental	545,247	251,440	54	800	8,000	4,361,976,000	2,011,520,000
Bosque siempreverde montano alto de la cordillera occidental	607,504	292,783	52	800	8,000	4,860,032,000	2,342,264,000
Bosque siempreverde montano bajo de la cord. oriental del norte y centro	331,804	178,066	46	800	8,000	2,654,432,000	1,424,528,000
Bosque siempreverde montano bajo de la cordillera oriental del sur	349,681	262,853	25	800	8,000	2,797,448,000	2,102,824,000
Bosque siempreverde montano alto de la cordillera oriental	937,425	592,272	37	800	8,000	7,499,400,000	4,738,176,000
Bosque de neblina montano de la cordillera occidental	949,332	466,382	51	800	8,000	7,594,656,000	3,731,056,000
Bosque de neblina montano de la cordillera oriental	902,935	692,813	23	800	8,000	7,223,480,000	5,542,504,000
Bosque semideciduo montano bajo de la cordillera occidental	188,641	50,499	73	800	8,000	1,509,128,000	403,992,000
Matorral húmedo montano de los Andes del norte y centro	484,983	116,395	76	144	1,440	698,375,520	167,608,800
Matorral húmedo montano de los Andes del sur	133,574	100,180	25	144	1,440	192,346,560	144,259,200
Matorral seco montano bajo	26,722	18,972	29	144	1,440	38,479,680	27,319,680
Matorral seco montano de los Andes del norte y centro	214,808	57,998	73	144	1,440	309,323,520	83,517,120
Matorral seco montano de los Andes del sur	297,387	83,268	72	144	1,440	428,237,280	119,905,920
Páramo de frailejones	54,728	45,424	17	930	9,300	508,970,400	422,443,200
Páramo de almohadillas	115,466	113,156	2	930	9,300	1,073,833,800	1,052,350,800
Páramo de almohadillas y arbustivo	53,087	51,494	3	930	9,300	493,709,100	478,894,200
Páramo herbáceo	1,173,038	856,318	27	930	9,300	10,909,253,400	7,963,757,400
Páramo seco	183,133	87,904	52	930	9,300	1,703,136,900	817,507,200
Herbazal montano	855	214	75	470	4,700	4,018,500	1,005,800
Herbazal montano alto	3,139	1,978	37	470	4,700	14,753,300	9,296,600
Gelidofitia	7,501	6,826	9	470	4,700	35,254,700	32,082,200
Nieve perpetua	23,247	22,783	2	4	40	929,880	911,320
Bosque siempre verde tierras bajas Amazonia	6,074,545	5,467,091	10	2,000	20,000	121,490,900,000	109,341,820,000
Bosque siempre verde de plamas inundables	756,661	680,995	10	2,000	20,000	15,133,220,000	13,619,900,000
Bosque siempre verde de tierras inundables	404,366	363,929	10	2,000	20,000	8,087,320,000	7,278,580,000
Bosque siempre verde piemontano Amazonia	928,260	835,434	10	2,000	20,000	18,565,200,000	16,708,680,000
Bosque siemore verde montaña bajo coordillera Amazonia	768,311	460,987	40	2,000	20,000	15,366,220,000	9,219,740,000
Bosque siempre verde montaña coordilleras Amazonia	181,878	109,127	40	2,000	20,000	3,637,560,000	2,182,540,000
Bancos de Arena/Playa	10,333	10,333	-	3	30	309,990	309,990
Humedales	496,726	496,726	-	2,500	25,000	12,418,150,000	12,418,150,000
Afloramiento rocosa	40,805	40,805	-	4	40	1,632,200	1,632,200
Cuerpos de Agua	387,753	387,753	-	500	5,000	1,938,765,000	1,938,765,000
	25,857,582	15,801,796				356,289,948,870	237,014,582,640
AREA APROPIADA(Ha)		39				AHPPN (%)	33

Fuente: Sierra 1999

3.2 Aproximaciones Empíricas.

En el Ecuador podemos obtener ejemplos palpables de la relación entre crecimiento económico y pérdida de ppn. Solo observemos los principales “booms económicos”, en los casi 200 años de existencia del Ecuador como república la explotación de café, cacao, banano, petróleo, camarón, petróleo y minería, ha supuesto la transformación de miles de hectáreas de bosque húmedo tropical en inmensas plantaciones de cultivo intensivo, que no generan las mismas relaciones de ppn que un bosque tropical.

Haberl (1997) demostró en un estudio realizado para Austria, mediante un análisis a través de modelos de la NASA sobre ppn de la superficie terrestre, que la vegetación actual supuso un menoscabo del 7% de la ppn natural y que un 34% de la producción potencial se transformó en cultivos y cosechas.

En el Ministerio de Ambiente, EcoCiencia y UICN (2001), se encuentra que los sectores de la costa y la sierra han sido las áreas más afectadas por el crecimiento económico (boom cafetero, cacaoero, bananero y camaronero) contribuyendo a la desaparición de 68,4% de la superficie original y en la sierra la destrucción (expansión de la frontera agrícola) de 42,7% de la superficie original.

Cardoch et al. (2002) estudiaron la modificación de las deltas de Mississippi en EEUU, encontrando grandes inversiones agrícolas que habían prosperado gracias al subsidio agrícola que se destina a estas tierras. Sin embargo el deterioro ambiental provocado era responsable de los bajos niveles de lluvia en la zona, obligando a realizar grandes inversiones en proyectos de tecnificación agrícola⁶⁷.

Para Falconí (2002), la ampliación de la frontera económica (crecimiento económico), viene acompañada del aumento desmedido y sin control de las redes viales, construcción de infraestructura y una política de colonización de la amazonia ecuatoriana ejecutada por el gobierno de turno, lo que conlleva a la transformación del uso de tierras de bosques húmedos tropicales en áreas cultivables, reduciendo el “capital natural” en un 68% los bosques de la sierra y 16% los bosques de amazonia, ya que los cambios son cualitativos y así los capitales no son sustituibles.

⁶⁷mientras el PPN de los ecosistemas naturales se redujo de 2500 $gm^{-2}y^{-1}$, en el año 1900 a 2000 $gm^{-2}y^{-1}$ en el año 1990, la producción primaria neta de los cultivos intensivos (especialmente arroz) se incremento de 700 a 1000 $gm^{-2}y^{-1}$ en el mismo periodo, con una apropiación humana del 35% del total de la zona en cuestión.

Para Martínez-Alier (2003), la idea de un indicador que logre demostrar el rendimiento energético de un *input* de energía, en las transformaciones económicas, se debe observar como una aproximación a la pérdida de la biodiversidad, reflejada en la producción potencial de biomasa y su respectiva apropiación de la especie humana como una crítica al crecimiento económico.

Richmond et al. (2006) realizaron un estudio empírico sobre 51 países en vías de desarrollo y 20 países desarrollados, encontrando que la contribución de los servicios de los ecosistemas a través de la producción primaria neta (ppn) en los indicadores de ingresos nacionales, en particular del PIB, muestran valores de elasticidad positiva dentro de la ecuación de producción, lo que indica que existen valores medioambientales no cuantificados dentro de los ingresos nacionales de los países. La función de producción utilizada por estos autores es

$$Y = A_i * L_{it}^\alpha * K_{it}^\beta * N_{it}^\gamma \quad (28)$$

La ecuación 28 nos muestra una función de producción tipo Cobb-Douglas que permite la sustitución perfecta entre factores, existen rendimientos constantes a escala $\alpha + \beta + \gamma = 1$, donde A_i es el escalar de la tecnología considerada exógena, L_{it}^α es el factor productivo trabajo, K_{it}^β es del factor capital, N_{it}^γ es la cantidad de producción primaria neta e Y es la cantidad de producción medida en este caso a través del PIB nominal.

La elasticidad positiva obtenida para la ppn implica que la contribución de los ecosistemas a las actividades económicas es considerable y no únicamente desde el punto de vista de la provisión de alimentos o fibras. Este Resultado positivo se fundamenta en el axioma económico de que el precio para un factor de producción es igual a su producto marginal. Derivando la función de producción con respecto a la ppn:

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = \gamma A_i L_{it}^\alpha K_{it}^\beta N_{it}^{\gamma-1} \quad (29)$$

La ecuación 29 nos permite observar y valorar la variación del PIB respecto a la ppn.

El estudio de Richmon et al. (2006), encontró un precio sombra de los servicios ambientales dentro del PIB, valorados en millones de kilogramos de carbono, los rangos se situaron entre 0,37\$ para Zambia y 924\$ para Noruega. La diferencia de precios entre países viene dada por la disponibilidad de ppn y el tamaño de los ingresos asociados a

los factores de crecimiento económicos que contribuyen al PIB, es decir el valor dado a la ppn es alto para países desarrollados, debido a que sus ingresos por factores económicos (capital, trabajo, recursos naturales y tecnología) son altos por sus escalares mientras su disponibilidad de ppn es baja en relación a sus ingresos.

El resultado puede representar el hecho de que el crecimiento económico, caracterizado por la acumulación del capital y los cambios en el uso del suelo, está en relación directa con la disminución de los ecosistemas, debido al reemplazo de la naturaleza por infraestructura física o tecnología, lo que implicaría un límite al crecimiento, por la imposibilidad de sustitución entre capital y el ppn natural.

La apropiación humana de la producción primaria neta⁶⁸ en Austria en la actualidad, se encuentra en el rango del 41% de los ecosistemas terrestres, dato calculado por la diferencia de la ppn de la vegetación potencial no perturbada y la cantidad de ppn disponible actualmente, lo que implica que en un futuro cercano los ecosistemas terrestres no podrán soportar la carga de los seres humanos en la producción de alimentos.

3.3 El Modelo Econométrico.

El presente análisis parte conceptualmente desde una óptica neoclásica, y su principal línea de investigación surge de la impotencia de no poder explicar las externalidades que puede provocar las variables del crecimiento económico sobre la superficie terrestre.

La relación del trabajo del ser humano sobre el aumento de una frontera agrícola, la relación del capital, su interacción sobre la resiliencia de los ecosistemas especialmente los primarios, en definitiva la interacción de forma negativa sobre los bosques, páramos, esteros y estuarios primarios, reducen la producción primaria neta.

Para complementar el análisis utilizaremos las variables del modelo de crecimiento económico con recursos naturales, basándonos en variables de stock. En los países en desarrollo, la actividad económica principal se basa en la explotación y exportación de recursos tanto naturales como minerales. La explotación del stock de

⁶⁸ La apropiación humana de la PPN (AHPPN) es el porcentaje de los ecosistemas terrestres que el ser humano ha invadido, ya sea con infraestructura inerte sin producción de PPN, o en relación a la conversión del uso de la tierra con cultivos o monocultivos.

capital natural de un país que se encuentra en zonas intangibles y ricas en biodiversidad, da como resultado una degradación de los ecosistemas primarios positivos, es decir aquellos ecosistemas naturales que convierten energía disipada en energía para la vida, bajando de este modo la tendencia a alta entropía enunciada por Georgescu-Roegen (1971).

Partiendo de la función de producción Cobb-Douglas (30), una vez linealizada, se pueden obtener las elasticidades de los factores de producción sobre los ecosistemas primarios es decir la influencia de las primeras sobre los segundos, transformándolos de un sistema que produce baja entropía a otro que produce alta entropía:

$$\log(\text{PPN}) = \alpha_0 + \alpha_1 \log(K) + \alpha_2 \log(L) + \alpha_3 \log(R) \quad (30)$$

donde K, es el stock de formación de capital de la economía⁶⁹, L, es la población nacional⁷⁰, y R, son las reservas de barriles de petróleo⁷¹ los mismos que conforman la reserva nacional

Los coeficientes de regresión ($\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) miden el cambio en el valor de la media de la variable dependiente, por una unidad de cambio en las variables explicativas. Es decir, podemos observar la respuesta de la ppn ante un cambio porcentual no proporcional en la formación bruta del capital (K), en las reservas de petróleo (R), o en un aumento de población (L), pudiendo determinar qué variables son las que más presionan a la tendencia de la economía hacia un sistema de alta entropía.

Para el presente análisis utilizaremos tres modelos que representan diversas concreciones de la ppn.

El primer modelo utiliza la PPN_{tt} que es la suma de la ppn de los ecosistemas naturales más la ppn de los agro- ecosistemas modificados a causa de la presencia del ser humano.

Modelo 1;

$$\log(\text{PPN}_{ttj}) = \alpha_{0i} + \alpha_{1i} \log K + \alpha_{2i} \log L + \alpha_{3i} \log R \quad (31)$$

El segundo modelo utiliza la PPN_{na} (producción primaria neta de ecosistemas naturales) dada por la suma de la ppn de los ecosistemas naturales más extensos que se

⁶⁹Proxy de la inversión en capital de la economía en el Ecuador.

⁷⁰La población nacional, ejerce una presión adicional sobre el aumento de la frontera agrícola, además la necesidad de vivienda ejerce una presión adicional sobre los ecosistemas primarios.

⁷¹Reservas que constituyen un aproximado del capital de recursos naturales disponibles en la economía como activos corrientes.

encuentran en nuestro territorio; i) los bosques naturales⁷², ii) los páramos⁷³ que son grandes y extensas zonas de la serranía su importancia radica principalmente en la transformación del CO₂ en oxígeno y la obtención de agua y iii) el manglar⁷⁴, el reducto de las aguas salobres cuya importancia es vital para los productos de consumo que provee, y barrera en contra de la subida de la marea.

Modelo 2;

$$\log(\text{PPNna}_i) = \alpha_{0i} + \alpha_{1i}\log K + \alpha_{2i}\log L + \alpha_{3i}\log R \quad (32)$$

El tercer modelo nace de la relación de los factores de crecimiento económico, con la PPNmd (producción primaria neta modificada por el ser humano), en este cálculo se incluye el cambio de la superficie del territorio nacional para la siembra de extensas cantidades de terreno dedicada; i) pastos⁷⁵, ii) cultivos de ciclo corto⁷⁶, iii) cultivos permanentes⁷⁷.

Modelo 3;

$$\log(\text{PPNmd}_i) = \alpha_{0i} + \alpha_{1i}\log K + \alpha_{2i}\log L + \alpha_{3i}\log R \quad (33)$$

3.4 Fuentes de datos.

Para el análisis empírico se utilizaron series de tiempo anuales que van desde el año 1970 hasta el año 2007. Las variables utilizadas en el presente modelo fueron las siguientes:

La formación bruta de capital fijo, a dólares del 2000, se obtuvo del BCE y se considera como una aproximación de la inversión y el capital necesario para la creación de nuevas empresas o para expandir las empresas existentes.

⁷²Los bosques naturales, se dividen en bosques de costa tropical, bosques paramo-andinos, y bosques de llanura o amazónicos.

⁷³Zonas netamente de la serranía ecuatoriana a lo largo de todo el callejón interandino.

⁷⁴Importante en la costa ecuatoriana, se han depredado por la incorporación de piscinas camaroneras a lo largo de los esteros.

⁷⁵Los pastos son una transformación de bosques en llanuras para la crianza de ganado en especial vacuno.

⁷⁶Cultivos de ciclo corto, aquellos sembradíos que tienen una duración menor a un año.

⁷⁷Cultivos permanentes, son aquellos que tienen una duración de varios años y en definitiva son dedicados a monocultivos como por ejemplo: la palma, plátano, cacao, etc.

La población se toma de las estimaciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, remitida al BCE para los análisis, en base al último censo de población y vivienda realizada en 1999.

La muestra tomada de las reservas petrolíferas está dada por la British Petroleum, que mantiene datos desde 1965 hasta el 2006, en su base energética, tomando los datos emitidos por el órgano rector de cada país, en el caso de Ecuador, la información fue proporcionada por Petroecuador (Anexo 1).

La producción primaria neta (ppn), se estima sobre la base de la tasa de deforestación de los ecosistemas naturales y otros estudios puntuales realizados por organismos estatales ecuatorianos. Para ello se ha tenido en cuenta la reducción de los bosques húmedos, y sus diferentes etapas dentro de la historia del país, como una degradación de su estructura arbórea, con sus impactos negativos en el suelo, agua y biodiversidad, caracterizada por el cambio continuo en el uso de la tierra (Sánchez, 2006), para lo cual se tomo varios autores que analizan la deforestación, en el caso de los bosques se trato los siguientes datos según los autores que analizan la estimación de los bosques (Anexo 2).

Tabla 4.- Tasas de deforestación en Ecuador (1970-2005)

Bosques /Periodo	Tasa
1970-1987	-0.69%
1988-1990	-0.43%
1991-1995	-1.45%
1996-1998	-1.58%
1999-2007	-1.82%

Fuente: Varias INEFAN, CLIRSEN

La información sobre manglares se obtuvo de los estudios del CLIRSEN sobre la deforestación en manglares por aumento de camaroneras en los sectores de las salinas.

Tabla 5.- Tasas de deforestación del manglar por periodos en Ecuador (1970-2005)

Manglar /Periodo	Tasa
1970-1986	-0.89%
1987-1990	-2.10%
1991-1994	-1.45%
1995-2000	0.51%
2001-2007	-0.23%

Fuente: Varias CLIRSEN

Por lo que respecta a reducción de paramos, se consideró una tasa de reducción forestal realizada por el CLIRSEN, en el Ecuador año 2006 donde se estima en 1.2% la declinación de paramos en los últimos 20 años.

En nuestro análisis se han utilizado las tasas de deforestación de los distintos ecosistemas y aquellos datos imputables estimados en base al método de imputación de datos que analiza tanto variables como desviaciones.

Además de los datos de los ecosistemas naturales en este caso representados por los tres grandes grupos de ecosistemas naturales, se utilizaron las tasas de crecimiento de los agro ecosistemas, que analizamos en el estudio; cultivos de ciclo corto, cultivos permanentes, pastizales, arbustos, agua y estructuras sin valor (ciudades) (Anexo 3).

Los bosques de la costa y la amazonia fueron tomados a partir de las áreas de plantaciones especialmente de productos de exportación y pastizales para ganado vacuno, mientras que los camaroneros los manglares y los cultivos de ciclo corto.

Tabla 6.- Aumento sostenido en Hectáreas de cultivos en Ecuador (1970-2005)

Agro-ecosistemas	Aumento Promedio Ha
Cultivo ciclo corto	75000.00
Cultivo permanente	50156.00
Pasto	68900.00

Fuente: Varias, MAGAP, CLIRSEN

3.5 Análisis de Regresión Múltiple.

El análisis de regresión estudia la dependencia de una variable llamada dependiente respecto a una o más variables, llamadas explicativas, es decir tratar de estimar y/o predecir la media o valor promedio poblacional en relación de unos valores conocidos o fijos (Gujarati, 2003).

Los modelos de ecuaciones múltiples nos permiten explicar y asumir que la variable dependiente Y , es una función lineal de una serie de variables independientes X_1, X_2, \dots, X_n , además de un término de error ε (Pindyck y Rubinfeld, 2001).

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (36)$$

Debemos tener en cuenta las suposiciones que los modelos de regresión múltiple sostienen como: (i) la relación entre la variable dependiente y las variables independientes son lineales, (ii) las variables independientes son variables no estocásticas⁷⁸, es decir no existe una relación lineal exacta entre dos variables independientes, (iii) el error tiene un valor esperado de cero para todas las observaciones⁷⁹, (iv) homocedasticidad⁸⁰ del término de error lo que significa que tiene una varianza constante, (v) los errores no están correlacionados⁸¹, (vi) el término de error está distribuido de forma normal (Pindyck y Rubinfeld, 2001).

La solución se enmarca en la metodología de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO), donde se trata de estimar el coeficiente de regresión β , el mismo que corresponderá a la minimización de los parámetros del vector β' .

Para que los estimadores obtenidos por mínimos cuadrados $\hat{\beta}$, sean consistentes, debemos demostrar que están insesgado con respecto a β .

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y = (X'X)^{-1}X'(X\beta + \varepsilon) = \beta + (X'X)^{-1}X'\varepsilon = \beta + A\varepsilon \quad (37)$$

Dado que $A = (X'X)^{-1}X'$, que representa la regresión de ε en X , siempre y cuando las variables faltantes estén distribuidos en forma aleatoria independiente de X y tengan media cero, el estimador $\hat{\beta}$, es insesgado de β .

⁷⁸Las variables estocástica también considerada aleatoria es aquel grupo de valores que pueden tomar valores positivos o negativos con una probabilidad dada

⁷⁹ $E(u_i|X_i) = 0$

⁸⁰ $var(u_i|X_i) = E[u_i - E(u_i)|X_i]^2 = E(u_i^2|X_i) = \sigma^2$

⁸¹ $cov(u_i, u_j|X_i, X_j) = E[u_i - E(u_i)|X_i] [u_j - E(u_j)|X_j] = E(u_i |X_i)(u_j |X_j) = 0$

3.6 Imputación de datos múltiple.

La presencia de datos faltantes es un problema al tratar de unir diversas bases de datos, y en nuestro país el componente ambiental se ha mantenido alejado de las estadísticas oficiales. La aplicación de algoritmos de imputación múltiple se puede aplicar con programas en este caso el programa “Amelia View” que utiliza el paquete estadístico “R”.

Según CEPAL (2007), la ausencia de información y la presencia de datos aberrantes es un problema en el análisis económico y peor aun el econométrico de datos.

La presencia de registros sin información (missing values) y observaciones aberrantes (outliers), resulta en datos informativos o implicaciones estadísticas importantes, debido a que los paquetes estadísticos asumen que los datos son completos. La imputación de datos inapropiados conducen a sesgos y reducen el poder explicativo de los métodos estadísticos.

Según manifiesta Acock (2005), citado por CEPAL(2007), considera que los procedimientos de imputación que se utilizan limitan o sobredimensionan el poder explicativo de los modelos generando estimadores sesgados que distorsionan las relaciones de causalidad entre las variables, subestimando la varianza y alterando el valor de los coeficientes de correlación.

La técnica de imputación múltiple asume un supuesto de aleatoriedad donde la falta de información tiene una distribución aleatoria en la población de referencia. La existencia de valores perdidos forma parte de un conjunto de observaciones con características especiales que incluyen a los datos agrupados, agregados o redondeados censurados o truncados.

Según Rubín (1987) citado por CEPAL (2007), la imputación múltiple es el método más adecuado para reponer información omitida, debido a que genera buenos resultados aun con porcentajes de omisión del 50%. Sustentada bajo la premisa de que cada dato faltante debe ser reemplazado a partir de $m > 1$ simulaciones.

De esta manera se considera que la imputación múltiple es parte de los procesos de investigación con el fin de llegar a conclusiones sustentadas en evidencia empírica solida (CEPAL, 2007).

La fortaleza de los procedimientos de imputación múltiple, tiene una relación directa con el error cuadrado medio (ECM) donde se considera que el estimador de una variable (S) debe ser cercana a la variable imputada (S'), que sale de la base de datos imputada, minimizando de esta manera el sesgo, la varianza y la desviación estándar, reduciendo la probabilidad del error tipo II⁸²(CEPAL, 2007).

Para CEPAL (2007), la literatura considera a los algoritmos de máxima verosimilitud e imputación múltiple como los más robustos, sin olvidar la cautela en la utilización de los paquetes estadísticos.

La imputación múltiple utiliza modelos de simulación de “Monte-Carlo”, y sustituye los datos faltantes a partir de un numero de $m > 1$ simulaciones para generar estimadores robustos, su error estándar e intervalos de confianza mejores.

El procedimiento de Rubín (1987) citado por CEPAL (2007), procede a una combinación de m imputaciones de acuerdo con la ecuación 40:

$$\bar{Q} = \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{i=1}^m \hat{Q}_i \quad (40)$$

Donde \hat{Q}_i , variable a imputar, m , numero de imputaciones tratando de realizar la varianza de \bar{Q} , de donde de cada imputación se logra la varianza promedio según ecuación 41:

$$\bar{U} = \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{i=1}^m \hat{U}_i \quad (41)$$

Donde \hat{U}_i , es el estimador de la varianza entre las imputaciones.

Se procede a calcular la varianza de las imputaciones como promedio según la ecuación de promedios de varianza entre datos imputables, la ecuación 42:

$$I = \left(\frac{1}{m-1}\right) \sum_{i=1}^m (\hat{Q}_i - \bar{Q})^2 \quad (42)$$

Al calcular la varianza de la imputaciones se trata de estimar la varianza total, corrigiendo el número finito de imputaciones por el valor $\left(\frac{m+1}{m}\right)$, donde indicamos que parte de la información es a través de datos faltantes y se estima a partir de $\left(\frac{\gamma}{1-\gamma}\right)$, en donde γ , representa la fracción de información que se pierde por falta de respuesta.

Las pruebas de hipótesis y los intervalos de confianza se construyen a partir de la aproximación de t-student, por la ecuación $\frac{(\bar{Q}-Q)}{\sqrt{T}} \approx t_v$, obteniendo de la ecuación 36 :

⁸² $ECM = (S' - S)^2 = Sesgo^2 + \sigma(S')$

$$\bar{Q} \pm t_{gl}\sqrt{T} \quad (43)$$

Mientras los grados de libertad se determina por $v = (m - 1)(\bar{U}/(1 + m^{-1})I)^2$, que se determina mediante la ecuación 37:

$$gl = (m - 1)\left(1 + \frac{1}{r^2}\right) \quad (44)$$

Además se propone la medida $r = (1 + m^{-1})\frac{I}{\bar{U}}$, que determina el incremento relativo de la varianza debido a la presencia de datos faltantes y la tasa de datos faltantes donde se aproxima a $\lambda = \frac{r}{1+r}$.

La imputación realizada con el programa AMELIA para los datos de ecosistemas naturales fue aproximadamente del 50%, de igual manera para los agros ecosistemas (Anexo4). El programa entregó cinco tablas con resultados, que posteriormente fueron promediados a fin de obtener una sola matriz balanceada .

3.7 Estimación del modelo.

En un primer momento vamos a considerar las correlaciones básicas existentes, las mismas que permiten encontrar relaciones entre las variables pertenecientes a la teoría del crecimiento económico y los niveles de decrecimiento de la ppntt y ppna (producción primaria neta total, producción primaria neta natural) o a su vez de crecimiento (producción primaria neta agro ecosistemas) de la ppn.

A continuación se realizó la estimación de los tres modelos propuestos a través de análisis de regresión MCO, considerando una relación entre las variables de crecimiento económico analizado y la disminución de la producción primaria neta (ppn). Además se tuvieron en cuenta las dos opciones de datos utilizados, ya sea por imputación de datos o por relación de tasas. Los resultados se muestran en la tabla 7 donde se encuentran los 3 modelos a analizar, que presentan la producción primaria neta total (PPNtt), la producción primaria neta de los ecosistemas naturales (PPNna) y la producción primaria neta de los agro ecosistemas (PPNmd).

Tabla 7.- Regresión lineal múltiple (MCO) entre la PPN y los factores de producción para el modelo imputado y la relación de tasas (1970-2007)

item	Log producción primaria neta (datos imputables)			Log producción primaria neta (tasas)		
	Variables	PPN tt	PPN na	PPN md	PPN tt	PPN na
<i>lpob. (α_1)</i>	-0.1*	-0.242*	0.770*	-0.080*	-0.224*	0.801*
	0.022	0.0367	0.026	0.023	0.04	0.0237
<i>lfbk. (α_2)</i>	-0.05*	-0.090*	0.009***	-0.058*	-0.095*	0.041*
	0.014	0.0232	0.0167	0.014	0.0252	0.015
<i>lreser. (α_3)</i>	-0.045*	-0.072*	0.002***	-0.055*	-0.078*	-0.028*
	0.072	0.0118	0.0085	0.007	0.0129	0.007
<i>cons. (α_0)</i>	22.8*	26.2*	4.6*	22.7*	26.1*	4.0*
	0.22	0.3612	0.2614	0.2325	0.3935	0.2337
R2	0.9428	0.9581	0.9921	0.939	0.9504	0.9936
No Observ.	38	38	38	38	38	38
VIF	0.0482	0.0215	0.514	0.046	0.0045	0.4

* Significancia 1%

**Significancia 5%

***Significancia 10%

El modelo donde tenemos la PPN_{tt}, observamos en términos porcentuales, que un aumento del 1% de la población ejercen una presión de disminución de la ppn total de -10% , en cambio la formación bruta de capital, considera el cambio de 1% en una presión adicional a la reducción de la ppn. en -5% , mientras un aumento de 1% en reservas petroleras presionan sobre la ppn del -4.5% de la totalidad de la pérdida de ppn.

La explicación se debería principalmente al aumento de la población que genera un aumento de la frontera agrícola y ganadera, ejerciendo una mayor influencia en la reducción de los ecosistemas primarios en el país, transformando los mismos a sistemas agroindustriales de menor aporte de ppn. Es decir una tendencia clara al desorden o hacia un sistema de alta entropía.

La prueba de heterocedasticidad (Breusch-Pagan/Cook-Weisberg) nos muestran que no existen problemas de heterocedasticidad, ni de colinealidad en los regresores de los valores de la muestra, con una probabilidad de 0.0482 y 0.046, nos permiten aceptar la hipótesis de varianza constante de los datos, la prueba de multicolinealidad (VIF; factor de inflación de la varianza) de los datos con un valor promedio 3.4 nos permite inferir que no estamos influenciados por colinealidad.

La normalidad de los residuos tanto de la regresión con datos imputables y regresión con tasas, muestran que los mismos se encuentran dentro de un rango de normalidad, si bien es cierto existe un problema de curtosis⁸³ en los mismos (Anexo 4).

La segunda regresión realizada, analiza la PPNna del resultado de los ecosistemas naturales, en este caso las variables independientes del crecimiento económico arrojan como resultado una presión más marcada de la influencia de la población sobre la disminución de la ppn natural, considerando que un aumento de un 1% de la población disminuye la ppn natural entre -22% hasta llegar al -24%, en cambio la formación bruta de capital al aumentar un 1% , ejerce una presión sobre los ecosistemas que varía entre el -9% hasta -10% de disminución en el ppn natural, para sorpresa observamos que un 1% más de reservas petroleras influyen en una disminución del -7% hasta -8% de la ppn natural.

El tercer modelo analizado nos permite observar la influencia de los factores de crecimiento económico con la PPNmd, es decir la producción primaria neta de los ecosistemas agroindustriales, los cuales en cambio, deben mostrar una influencia de las variables de crecimiento económico positiva en el aumento de producción primaria neta de los agros ecosistemas. Efectivamente, el aumento de 1% en la población influye positivamente entre un 77% al 80% al aumento de la ppn modificada o agroindustrial, mientras el aumento de 1% a la formación bruta de capital contribuye positivamente entre el 1% al 4% del incremento del ppn modificado, el incremento de 1% de las reservas petroleras aumenta la ppn modificada del 0% al -3% de la ppn modificada, cabe destacar que el modelo PPNmd, muestra una significancia de hasta el 90%.

El modelo analizado para PPNmd, para corregir problemas de heterocedasticidad, se utilizó el comando “robust” en el programa STATA 10, pero el mismo no corrigió el problema, la prueba de heterocedasticidad (Breusch-Pagan/Cook-Weisberg), con una probabilidad máxima del 0.4, nos permiten rechazar la hipótesis de varianza constante de los datos, por lo tanto el modelo está afectado por heterocedasticidad, la prueba de multicolinealidad (VIF; factor de inflación de la varianza) de los datos con un valor promedio 3.4 menor a 10, considera que no existe problemas de multicolinealidad.

⁸³ El Coeficiente de Curtosis analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución

La normalidad de los residuos tanto de la regresión con datos imputables y regresión con tasas, muestran problemas de curtosis, esto sin contar con el problema de heterocedasticidad de los residuos.

De las estimaciones realizadas, se puede inferir que el principal problema que tienen los ecosistemas naturales para Ecuador, es el aumento poblacional, que necesita grandes cantidades de terreno urbanizables, llevando a invasiones especialmente en sitios protegidos y considerados reservas faunísticas de las ciudades, la construcción de vías de acceso y de sitios de esparcimiento. Otro punto importante es la presión sobre la economía nacional para incrementar la frontera agrícola, transformando extensas zonas de bosque virgen en cultivos de ciclo corto, cultivos de ciclo permanente y de zonas de pastoreo de ganado.

La formación bruta de capital en sí genera externalidades no tanto en el ámbito de la PPN sino sobre todo en la producción, debido a que la construcción de infraestructura en los actuales momentos se los realiza en pocos metros cuadrados de espacio, la tecnología ha cambiado las proporciones de espacio y de optimización de operaciones.

Los cambios tecnológicos igualmente en la parte de reservas petroleras, ha permitido crear plataformas petroleras en un 20% de lo que ocupaban las mismas hace 20 años, por lo tanto se necesita menos espacio para la construcción de facilidades petroleras.

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones y Discusión

El problema de las repercusiones del crecimiento económico y sus factores asociados sobre el medio ambiente, las limitaciones del medio ambiente en relación a la resiliencia y a su capacidad productiva, así como la falta de definición de las relaciones entre las variables de crecimiento involucradas y su relación entrópica con el medio ambiente, se han convertido en la actualidad en temas de discusión de numerosos estudios de investigación.

La existencia por parte de los modelos neoclásicos de sustitución de factores de producción y fundamentaciones matemáticas de modelos cerrados de la economía, no consideran los aspectos fundamentales de las leyes físicas, es decir, termodinámicas, y así tampoco las relaciones biofísicas del medio ambiente y la economía.

Los economistas neoclásicos consideran a la economía como un sistema cerrado por facilidad metodológica, que les permitan formular conceptos y teorías en relación con la lógica matemática formal, sin considerar en ningún momento las variables de resiliencia del medio ambiente así como de depredación de los recursos naturales tanto renovables como no renovables. Por cuestiones de escala, se podría defender dicho planteamiento en ese entonces (siglo XIX). Igualmente, la suposición de soberanía de preferencias es un subjetivismo radical y poco realista, en nuestra época de marketing como una ciencia.

Los modelos de crecimiento neoclásicos, como el de Solow o el de Stiglitz, justifican el crecimiento ilimitado a dos factores fundamentales (i) la existencia de sustitución entre factores de producción, sin tomar en cuenta las consideraciones de energía en los mismos, por ejemplo el capital no produce la misma cantidad de energía equivalente que los recursos naturales no renovables y (ii) a un avance tecnológico, que permitirá no solo la optimización de los recursos sino un movimiento perpetuo de la energía sin degradación del mismo lo que conllevaría a solucionar el problema de la escasez.

Si seguimos los pronunciamientos manifestados en la Paradoja de Jevons, que implica que una optimización de los recursos en un bien implican que se realizara una mayor producción de ese bien, desde esa óptica un aumento del nivel tecnológico

implicara a largo plazo (o a corto plazo), que se incremente su producción, sin ser contrario al objetivo planteado.

Las críticas a los modelos de crecimiento parten desde la concepción de que los procesos económicos están inseparablemente ligados a los medios naturales, desde el mismo hecho de la lucha por los recursos naturales, hasta llegar a la finitud de los mismos. Desde esta visión, la orientación termodinámica es fundamental debido a que la materia-energía se está destruyendo continuamente desde una forma disponible y valorada hasta una forma no disponible y por consiguiente no valorada. Este proceso da lugar a la ley de la entropía.

Las leyes termodinámicas relacionan los cuerpos físicos con el flujo energético, y se han convertido en elementos esenciales en los campos de la ingeniería, en los procesos industriales, e inclusive en los procesos sociales-económicos.

Según Carlos Zuppa (2005), en la década del 70, el Nobel Ilya Prigogine, comenzó a trabajar en las denominadas estructuras disipativas y comenzó su disputa con las ideas ortodoxas – y todavía vigentes de la mecánica estadística según las cuáles, las leyes básicas de la mecánica son reversibles pero generan estadísticamente fenómenos macroscópicos irreversibles. En esta época trató también de fundamentar rigurosamente una teoría de estructuras auto-organizativas.

Un punto a considerar es que en los modelos de crecimiento económico formales, analizados desde la óptica de sus consideraciones demográficas, no representan un comportamiento real de la población y sus motivaciones tanto psicológicas como sociales, dentro del esquema del crecimiento económico. Pero por otro lado, no es posible centrarse en la motivación del ser humano de adueñarse de las selvas inexploradas y colonizarlas de una forma desordenada, así como su transformación de selva virgen en pastizales para ganado con el afán de ganar dinero, estos hechos basados en los principales “booms económicos” de las últimas décadas en el Ecuador, convirtió al elemento humano como la mayor causa de los problemas de decrecimiento de la producción primaria neta dentro del esquema de una función de producción en el Ecuador en términos de stock .

Considerando que la producción primaria neta nos acerca a un estado de producción de alta entropía, lo que conlleva, como observamos en el capítulo dos, a una convergencia o a un estado de degradación generalizado en el ambiente físico de los ecosistemas que a su vez se convierte en un detonante de conflictos sociales.

Precisamente la tendencia de todo sistema a desorganizarse y a desorientarse hacia un estado de mayor desorden es otra manifestación del fenómeno de la entropía.

La energía se relaciona a una forma de organización diferente de la materia, el calor es la manifestación desordenada de las moléculas, en cambio el trabajo o la electricidad son las manifestaciones ordenadas de un flujo de electrones

La producción primaria neta nos permite inferenciar sobre la importancia de la ppn y sus efectos sobre la degradación de los mismos, como se manifiesta y sobre todo, la relación entre los ecosistemas y la utilización de la energía dentro de una función de producción de los factores de crecimiento económico.

El proceso económico se basa en la transformación de insumos en productos, y la entropía describe la pérdida de la calidad de la materia una vez transformada a lo largo del tiempo, es decir toma recursos de alta calidad para lograr trabajo y los convierte en productos de baja calidad en función de utilidad energética.

La idea de un indicador que logre demostrar el rendimiento energético de un *input* de energía en las transformaciones económicas, se debe observar como una aproximación a la pérdida de la biodiversidad, reflejada en la producción potencial de biomasa y su respectiva apropiación de la especie humana como una crítica al crecimiento económico.

Los estudios de la producción primaria neta permiten encontrar un modo de interpretar la degradación del medio ambiente en términos energéticos y su ubicación dentro de una función de producción nos permite conocer las relaciones entre los factores principales del crecimiento económico. Está relación directa con la disminución de ppn, debido al reemplazo de la naturaleza por infraestructura física, y los cambios en el uso del suelo implicaría un límite al crecimiento al sostener la imposibilidad de sustitución entre capital y ppn.

Las principales relaciones existentes encontradas en el estudio entre los factores de crecimiento económico y los niveles de crecimiento en ciertos casos y decrecimientos de la ppn tanto la natural y la modificada se verifican por los datos de correlación de las variables.

La correlación principal y más fuerte se da entre el stock de la población, mientras con un menor valor se encuentra la formación bruta de capital y la existencia de reservas petroleras.

Los modelos econométricos realizados para el análisis de la producción primaria neta total (ppntt) que es la suma de producción primaria neta natural (ppnna) y la producción primaria neta modificada (ppnmd), demuestran que el principal agente que disminuye la producción primaria neta (ppn) es un aumento de la población, mientras que el aumento del capital y la variación de las reservas petroleras disminuyen la producción primaria neta total (ppntt) en un menor nivel, si consideramos un mejor manejo de las áreas protegidas y otros tipos de reordenamiento urbanístico se podría mejorar la productividad de los espacios existente y no propender a seguir empeorando las condiciones de la producción primaria neta actual.

Para el modelo de producción primaria neta natural (ppnna) los resultados manifiestan que el principal agente destructor del medio ambiente es el ser humano, el dato de incidencia implica una disminución de casi un cuarto de la producción primaria neta natural (ppnna), mientras que el capital bruto y las reservas petroleras presionan la ppnna en menor medida. La destrucción sistémica de la ppn natural, se da principalmente por las políticas de colonización y natalista empleadas desde el inicio de la explotación petrolera en la amazonia, y al cambio de uso de suelo especialmente en los ecosistemas de la costa que transformaron grandes extensiones de bosques en cultivos de ciclo permanente, para poder soportar el modelo primario exportador que se mantuvo por dos décadas.

Finalmente el modelo que relaciona la ppnmd con los factores de producción arrojó datos no consistentes al mostrar problemas de heterocedasticidad.

Por los resultados analizados, la presión que ejerce el ser humano sobre los ecosistemas naturales es significativa, por consiguiente debemos considerar cuales son las motivaciones del hombre en reemplazar los ecosistemas:

- La presión del ser humano por la ampliación de las zonas urbanas, motivadas por un aumento generalizado de la población, provoca invasiones que destruyen los cinturones verdes de las ciudades, bosques protectores o páramos circundantes, lo que conlleva además de ampliación de vías de acceso y servicios básicos.
- El aumento de la población genera además una presión sobre la capacidad de producción de alimentos del país y se traduce en un aumento de la frontera agrícola (alimentos primarios) y zonas pecuarias (leche, carne, etc.). Este aumento genera un mayor poder de kilocalorías

de la alimentación de la población en desmedro de los ecosistemas naturales principalmente los bosques primarios y paramos, considerando un daño medioambiental vinculado a la disminución de la PPN natural.

- La disminución de la PPN natural también tiene problemas por el aumento de las exportaciones de productos primarios como son: banano, cacao, café, palma, caña de azúcar, camarón entre otros productos primarios de exportación que provocan una presión de cambio de uso de suelo entre ecosistemas primarios (bosques, páramos y manglares) con agro-ecosistemas tanto de ciclo corto como ciclo permanente.

4.2 Recomendaciones

Los principales factores de crecimiento económico, como son el capital, el crecimiento poblacional y reservas de recursos naturales no renovables, son a su vez los causantes de la degradación del medio ambiente, o sea, producción de una entropía acelerada, no solo a nivel nacional sino además a nivel mundial. Estos resultados nos permiten formular patrones de comportamiento que causen un menor impacto ambiental.

En primer lugar consideramos que es necesaria una mejor reestructuración de las ciudades, basados en leyes y ordenanzas municipales que obliguen a los poseedores de terrenos la siembra de un porcentaje significativo de la totalidad de los mismos con árboles y vegetación autóctonos, que permitan considerar barreras naturales y así incrementar la PPN reguladora del clima.

Así mismo debe existir una regulación urbanística para constructores e inmobiliarias que controle la ampliación de las zonas urbanas, no permitiendo el desarrollo desordenado de las mismas en desmedro de los cinturones verdes que proveen de barreras naturales que protegen de las inundaciones o de los deslaves de lodo en épocas de lluvia, y que contribuyen a mejorar la calidad del aire. Es decir regulaciones que eviten destruir los ecosistemas propios con el pretexto de mejores niveles de vida de las personas que viven en las ciudades.

Debemos comprender y reconocer que la naturaleza a partir de la Constitución de Montecristi, posee derechos y que se violan al no conceder mayor calidad y cantidad a los ecosistemas existentes que sufren al ser irrespetados los mismos.

La teoría y evidencia respaldan que deben ampliar las reservas naturales en el Ecuador, y que las mismas contengan grandes extensiones de áreas de protección reserva natural ITT (Ishpingo, Tambococha, Tipitini), es un importante punto de partida que el gobierno debe aprovechar para crear una concientización nacional e internacional.

El Ecuatoriano promedio consume 2300 kilo-calorías diarias en su dieta, Sin embargo la frontera agrícola a nivel nacional ha aumentado de manera constante y considerable. El principal problema existente es baja la productividad de los cultivos tanto de ciclo corto y ciclo permanente del Ecuador, situándose entre los países con menor productividad de cultivo por hectárea sembrada. Aumentar esa productividad, ya sea por las mejoras en los procesos de siembra con mejores semillas que sean más productivas o el uso de tecnología tanto para el cultivo como para la cosecha, donde se desperdicie menos de agua y nutrientes, permitirá que no se genere nuevas plantaciones en desmedro de los bosques naturales existentes.

El cambio de matriz de comercio exterior es fundamental para mantener las zonas naturales, un 70% de las exportaciones del Ecuador en los actuales momentos se basa en la exportación de productos primarios, ya sea vegetales para la alimentación o de recursos naturales no renovables, de bajo valor agregado, pero ricos en energía. En los últimos 30 años las zonas naturales han sido sustituidas por cultivos intensivos en mano de obra e intensivos en capital, por lo tanto la explotación petrolera ha causado daños irreparables en los ecosistemas y en los actuales momentos la explotación minera se convierte en la sucesora de la mismas, ejemplos abundan como los cultivos de palma africana que ha erradicado la selva tropical en las provincias de Esmeraldas y Sucumbíos.

Regular la extracción controlada de reservas tanto de petróleo como de yacimientos auríferos y metálicos son necesarios para propender a controlar su daño medioambiental, como la utilización de tecnología de punta que disminuya el daño colateral tanto faunística como vegetal de los ecosistemas amenazados por estas actividades.

Introducir además regulaciones en materia ambiental que obliguen a las fabricas a tratar los materiales resultantes de la transformación de la materia prima y permitan que los mismos sean entregados al medio ambiente de una forma que no afecten la resiliencia de los ecosistemas.Regulaciones medioambientales que permitan el cambio

de matriz energética, elementos que provean una menor contaminación, tanto acústica, aire, tierra y agua serian fundamentales.

Consideraciones de políticas que incentiven la utilización de equipos de punta que minimizan el uso de materias primas y ofrezcan mayores niveles de productividad y por ende reduzcan los niveles de contaminan que se emana a la atmosfera son necesarias, claro esta concediendo limites al uso de recursos y al abuso de los sumideros ecológicos, como una iniciativa a la reconversión de una paradoja de Jevons

Propender por políticas gubernamentales que aseguren la utilización de productos reciclados seria beneficiosos para reducir la cantidad de materia prima virgen y permitan la reducción de salidas de divisas por concepto de materia prima para las industrias.

Existen países que han explotado la naturaleza de forma adecuada como el turismo ecológico o turismo natural que es aquel que permite aprovechar los recursos sin dañarlos y solo considerar su valor hedónico, el turismo masivo igualmente destruye en parte los ecosistemas que aprovecha como ejemplo tenemos el ingreso al Parque Nacional Galápagos, invadido cada año por gran cantidad de turistas que poco a poco están cambiando los ecosistemas naturales. Ahí, vemos que es una cuestión de escala. La velocidad de la erosión de sostenibilidad de las Galapagos debido a turismo es baja en comparación, digamos, con buques de pesca que arasan el mar. Sin embargo, una erosión perpetúa tendrá el mismo efecto.

Finalmente, es necesario que el Gobierno concientice a los ecuatorianos, a través de campañas divulgativas en la protección del capital natural del Ecuador, que permitan salvaguardar los ecosistemas naturales que aun poseemos e incrementarlos de manera progresiva para mejorar los niveles de vida de nuestras futuras generaciones. Estas acciones deben ir enfocadas a proteger y recuperar la selva tropical, lo que a su vez ayudara a controlar los niveles de pluviosidad en la región, los manglares que proveen de barreras naturales a las inundaciones y de comida a los habitantes locales, y los páramos que entregan gran parte de el agua que consumimos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acock, C., Alan (2005), *Working With Missing values*, Journal of Marriage and Family 67, November.
- Adams Richard (1978), *El Hombre, Energía y Antropología: Puedo sentir calor pero donde está la luz*, Vol 80, American Antropologist, EEUU.
- Aguilera F. y Alcantara V. (1994), *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica*, ICARI FUDHEN, Madrid-España, Economía Crítica.
- Araujo, Maria Caridad (1998), *Entropía y procesos productivos; una aplicación a la economía ecuatoriana*, Ecuador-Quito, Opúsculos de Economía, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Avellaneda, Alfonso (2002), *Gestión ambiental y planificación del desarrollo; el reloj verde*, Bogota-Colombia, Textos universitarios, Ecoediciones, Litoperla impresores.
- Banco Central del Ecuador, varios años, Boletines estadísticos capitulo 4 ; producción, precios y población.
- Barro, R y Sala-i-Martin, X (2004), *Economic Growth*, London, Cambridge and London MIT Press.
- Blatt, Frank (1991), *Fundamentos de Física Aplicada*, México, Prentice – Hall Hispanoamérica S.A.
- British Petroleum, 2008, BP Statistical Review of World Energy June 2008, <http://www.bp.com/productlanding.do>.
- Cardoch Lynette, Day Jhon, Ibanez Carlos (2002), *Net Primary Productivity as an Indicator of Sustainability in the Ebro and Mississippi Delta*, Luisiana-EEUU, Ecological Applications Vol. 12 No. 4
- Carpintero, Oscar (1999), *Economía y ciencias de la naturaleza; algunas consideraciones sobre el legado de Nicholas Georgescu-Roegen*, Valladolid-España, Tribuna de Economía, numero 779

- (2007). “*La apropiación humana de la producción primaria neta (AHPPN) como aproximación al metabolismo económico*”, Universidad de Valladolid, Revista ecosistemas, Valladolid-España.
- CEPAL , 2007, Fernando Medina y Marco Galvan, *Imputación de datos Teoría y Práctica*, División de estadística y Proyecciones económicas, Santiago de Chile-Chile
- Common, Mick (1997), *Is Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz the important point*, Ecological economics No 22, p 277-279.
- CLIRSEN,
- Dagusta, Partha y Heal, Geoffrey (1974), *The optimal depletion of exhaustible resources*, the review of Economics Studies, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible.
- Daly, Herman (1977), *Steady-state economics : the economics of biophysical equilibrium and moral growth*, San Francisco- EEUU,
- Daly, Herman (1999), *Georgescu-Roegen versus. Solow/stiglitz*, EEUU, Ecological Economics 22.
- Destinobles, Gerald y Hernández, Jesús (1998), *El modelo de crecimiento de Solow*, Puebla-México, Aportes: Revista de la facultad de Economía BUAP , Año VI, Numero 17, Foro Económico.
- Falconí, Fander (2002), *Economía y desarrollo sostenible ¿Matrimonio feliz o divorcio anunciado? El caso de Ecuador*, Quito-Ecuador.
- Georgescu-Roegen, Nicholas (1971), *La ley de la entropía y el proceso económico*, Fundación Argentaria, impreso 1996, Madrid –España.
-(1975), *Dynamics Models and Economic Growth*, Gran Bretaña, Vanderbilt University, Word Development Pergamon Press, número 11.
- -----(1977a), *¿Qué puede enseñar a los economistas la termodinámica y la biología*, Atlantic Economic Journal, pp 13-21

- ----- (1977b), *Energy Analysis and Economic Valuation*, Virginia-EEUU, Regional Research Institute, West Virginia University.
- ----- (1977c), *The Steady State and Ecological salvation; A Thermodynamic Analysis*, Virginia-EEUU, BioScience Vol. 27 No 4, West Virginia University.
-(1998), *Bioeconomía Básica*, México, Economía ecológica y ética, Fondo de Cultura Económica.
- ----- (1989), *Mitos de la economía y la energía*, México, Ecología, Economía y Ética, Ediciones de fondo de cultura económica.
- Granda, Catalina (2007), *Condiciones Técnicas para el crecimiento sostenible en la teoría económica*, Antioquia, Volumen 10.
- Gujarati Damodar (2004), *Econometria*, Cuarta Edición , McGraw-Hill.
- Haberl, Helmut., 1997. "Human Appropriation of Net Primary Production as An Environmental Indicator: Implications for Sustainable Development." *Ambio* 26(3), 143-146.
- Hardin, Garret (1993), *Living Within Limits*. New York, N.Y- EEUU, Oxford University Press.
- Hardy, Thomas (1998), *Entropía, a donde vamos ; en los procesos reales, las concentraciones (de lo que sea) tienden a dispersarse, la estructura tiende a desaparecer, el orden se convierte en desorden*, México, Revista económica y medio ambiente.
- Harcourt, G.C. (1973), *The Rate of Profits in Equilibrium Growth Models*, A review Article, Adelaide-EEUU, The Journal of Political Economy, Vol. 81 , No 05 .
- Hernández, Tania (2007), *Los orígenes de la economía ecológica; revisión de las contribuciones de Georgescu-Roegen*, México, Tecnología y desarrollo del colegio de México.

- Hildebrando, Vélez (2004), *Los paramos y la Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta*, Colombia, V conferencia Nacional de Paramos de Colombia.
- Howitt, P y Aghion, P (1998), *Endogenous Growth Theory*, Cambridge-EEUU, MIT Press Cambridge.
- Irazabal, Gustavo (2001), *Valoración Económica de un Ecosistema: Caso de estudio; San Miguel, la Palotada*, Manejo Integrado de Recursos Naturales , Costa Rica
- Kapp, William (1976), *El carácter de sistema abierto de la economía y sus implicaciones*, Londres-Reino Unido, Economics in the future-Towards a new Paradigm, Libro de Aguilera, Alcántara (pp-321).
- Martínez Alier, Joan (1991), *La ecología y la economía*, México, Fondo de Cultura Económica.
-(2003), *Ecología Industrial y Metabolismo Socioeconómico: Concepto y Evolución Histórica*, Journal de Economía Industrial No 351, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona-España.
- Ministerio de Ambiente, EcoCiencia y UICN (2001), *Biodiversidad del Ecuador; Informe 2000*, Quito, Ministerio de Ambiente, ecociencia y UICN.
- Naredo, José Manuel (1999), *Desarrollo económico y deterioro ecológico*, Madrid-España, Fundación Argentaria...
- Nordhaus, William (1974), *Resources as a constraint on growth*, Yale-EEUU, The American Economics Review, Vol. 64, American Economics Association.
- Odum, Eugene (1986), *Fundamentos de Ecología*, México, Nueva Editorial Interamericana S. A.
- Odum, P y sarmiento O (1998), *“Ecología; puente entre ciencia y sociedad”*, Editorial McGraw-Hill, Atrampa-México
- Osorio, Roció (2001), *La economía de los recursos naturales: un asunto de límites y necesidades para la humanidad*, Medellín, Ecos de la Economía No 15.

- Passet R.(1980 a), "*La thermodynamique d'un monde vivant*" Futuribles, pp.3-25.Paris- Francia.
- Pearce, David (1997), *Substitution and sustainability; Some Reflections on Georgescu-Roegen* , Economics Ecological No 22, p 295-297.
- Pindyck R. y Rubinfeld L (2001), *Econometria modelos y pronosticos* , Mexico-Mexico, McGraw-Hill.
- Rifkin, Jeremy (1980), *Entropy: into the greenhouse World*, United Status of America, Viking Press Edition.
- Richmond et. al (2006), "*Valuing ecosystem services; a shadow price for net primary production*", Departamento de Geografia y medio ambiente West point, West Point- EEUU.
- Rubin, D. B. (1987), *Multiple imputation for non-response in surveys*. New York, Wiley.
- Sanchez, Roberto 2006, *la deforestación en el Ecuador*, Quito-Ecuador.
- Sierra, Roberto (1999), *Mapa de Vegetación remanente del Ecuador Continental*, CIRCA 1996 ; Proyecto INEFAN/GEF y Wildlife Conservation Society.
- Solow, Robert (1956), *Quarterly Journal of Economics*, Jastor, Massachusets Institute of Tegnology
- Solow, Robert (1973). "*Intergenerational Equity and Exhaustable Resources*," Working papers 103, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Department of Economics.
- Solow, Robert & F. M. Fisher & J. R. Kearl, (1974), "*Aggregate Production Functions: Some CES experiments*," Working papers 136, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Department of Economics.
- Solow, Robert (1979), *Un modelo de crecimiento*, México, Traducción de Eduardo L. Suárez, Fondo de Cultura Económica.
- ----- (1991), *Sostenibilidad; la perspectiva de un economista*, Massachusets-EEUU, Mimeo.

- Stiglitz, Joseph (1974a), *Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths*, Stanford-EEUU, Energy Policy Project Sponsored by Ford Foundation.
- ----- (1974b), *Growth with Exhaustible Natural Resources: The Competitive Economy*, Stanford-EEUU, Energy Policy Project Sponsored by Ford Foundation.
- Van Valen, Leigh (1973), *A new evolutionary law*, Teoria de la Evolucion. The University of Chicago , Chicago- EEUU.
- Vogel, Joseph Henry (1989), *Entrepreneurship, evolution, and the Entropy law*, EEUU, The Journal of Behavioral Economics, Numero 3.
- Yankelovich Daniel (2001), *New Rules: searching for self-fulfillment in a world turned upside down*, Connecticut –EEUU, University of Connecticut.
- Zuppa Carlos (2005), *Ilya Prigogine: Nueva alianza o Nueva Religion*, Departamento de Matemáticas. UNSL. Chacabuco y Pedernera. 5700. San Luis-Argentina.

ANEXO 1

Variables de población (numero), formación bruta de capital (\$) , y reservas de petróleo (barriles).

ANIO	pob	fbk	reservas
1970	5969918	1928248000	1527434000
1971	6148361	2518049000	1527434000
1972	6331179	2023670000	1500000000
1973	6518503	2228243000	1538579000
1974	6710462	2778478000	1474901000
1975	6907185	3304622000	1417000000
1976	7109212	3405968000	1214500000
1977	7316456	3913765000	1098994000
1978	7528109	4405914000	1072602000
1979	7743360	4373685000	1023000000
1980	7961402	4617336000	973900000
1981	8183120	4335629000	904100000
1982	8409053	4343807000	914000000
1983	8637873	3381803000	881700000
1984	8868249	3217885000	1137100000
1985	9098852	3401536000	1148000000
1986	9329636	3527133000	1235100000
1987	9561489	3692561000	1594300000
1988	9804403	3403798000	1514900000
1989	10039775	3428245000	1441600000
1990	10271874	3188328000	1355200000
1991	10503491	3490240000	1524400000
1992	10735969	3665386000	3240000000
1993	10965121	3773927000	3659800000
1994	11186758	4023889000	3491200000
1995	11396692	3941681000	3385300000
1996	11591131	3773777000	3453000000
1997	11772866	3875345000	3674000000
1998	11947588	4027764000	4102000000
1999	12120984	2913276000	4428000000
2000	12298745	3264681000	4566000000
2001	12479924	4031480000	4630000000
2002	12660727	4794259000	5060000000
2003	12842576	4786413000	5060000000
2004	13026890	5022325000	5060000000
2005	13215089	5568170000	4865830000
2006	13408270	5730446000	4464930000
2007	13595934	5892722000	4269270000

Fuente: BCE Elaboración: Denis Zurita.

ANEXO 4.- Tabla de datos para Imputar (1970-2007)

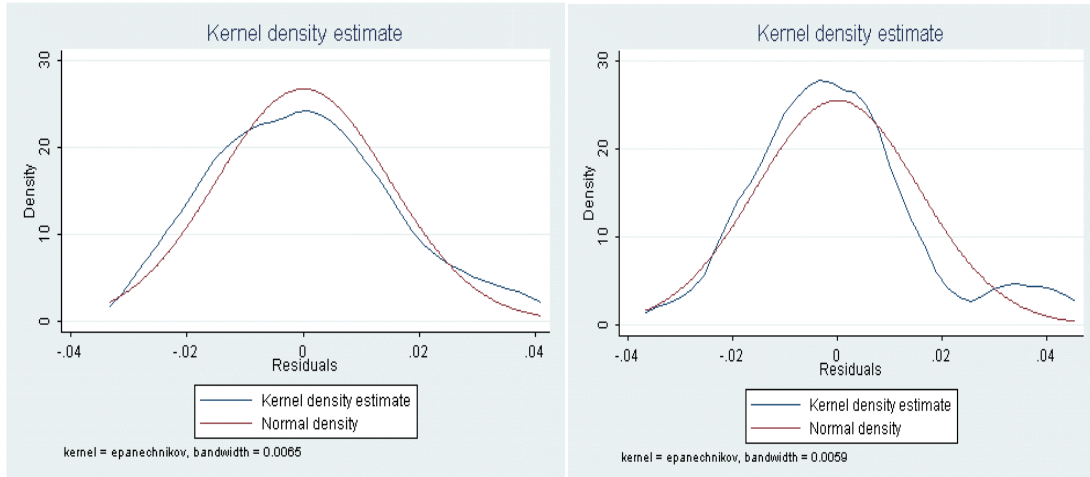
Año	Bosques	Manglares	Paramos	Ciclo Permanente	Ciclo Corto	Pastos
1,970	15,642,000.0	203,695.2	1,579,452.0	478,617.2	66,955.5	2,300,000.0
1,971	15,536,000.0	201,882.3	1,560,498.6	503,026.7		2,350,000.0
1,972						
1,973			1,523,271.3			2,450,000.0
1,974					95,940.4	
1,975	15,119,134.7	194,790.6		613,764.7	104,967.6	2,800,000.0
1,976		193,057.0	1,469,089.0	645,066.7		3,000,000.0
1,977			1,451,459.9			
1,978	14,813,842.7				137,472.7	
1,979		187,948.1	1,416,833.9	748,881.0	150,407.8	3,700,000.0
1,980	14,613,747.2			787,073.9		
1,981	14,514,715.3		1,383,033.9			
1,982		182,974.4				4,420,000.0
1,983			1,350,040.2	913,742.1	215,519.1	4,500,000.0
1,984	14,221,628.0	182,156.0	1,333,839.8	960,343.0		
1,985	14,125,253.4					4,700,000.0
1,986			1,302,019.7	1,060,795.8		
1,987		175,157.4			308,816.8	
1,988	13,901,768.7			1,171,756.2	337,874.0	4,874,000.0
1,989			1,255,707.2			4,900,000.0
1,990	13,817,000.0	164,856.7	1,240,638.7		404,447.7	
1,991	13,619,400.0	162,186.6		1,360,333.5		
1,992	13,421,800.0	158,942.8				4,933,000.0
1,993			1,196,509.5		529,692.4	
1,994				1,579,259.6	579,532.2	5,093,000.0
1,995		146,938.6	1,167,965.6	1,659,801.9		
1,996	12,631,400.0	147,746.8	1,153,950.0			4,996,000.0
1,997	12,433,800.0			1,833,418.8		
1,998			1,126,421.4		830,410.4	
1,999		149,556.2				5,095,000.0
2,000	11,841,000.0	150,378.8		2,128,481.3	908,545.3	5,087,000.0
2,001	11,643,500.0		1,086,354.9	2,237,033.8		
2,002		149,687.8			1,071,534.7	
2,003	11,248,366.7			2,471,029.8		4,762,690.0
2,004			1,047,713.5			
2,005	10,853,300.0				1,372,447.4	4,990,000.0
2,006	10,655,766.7	148,230.2	1,022,719.3	2,868,706.6	1,490,477.0	5,020,000.0
2,007		147,889.3		3,015,010.7		
Datos	19	18	19	19	16	19
Porcentaje	50%	47%	50%	50%	42%	50%

Fuente: Varias, MAGAP, CLIRSEN, INEFAN

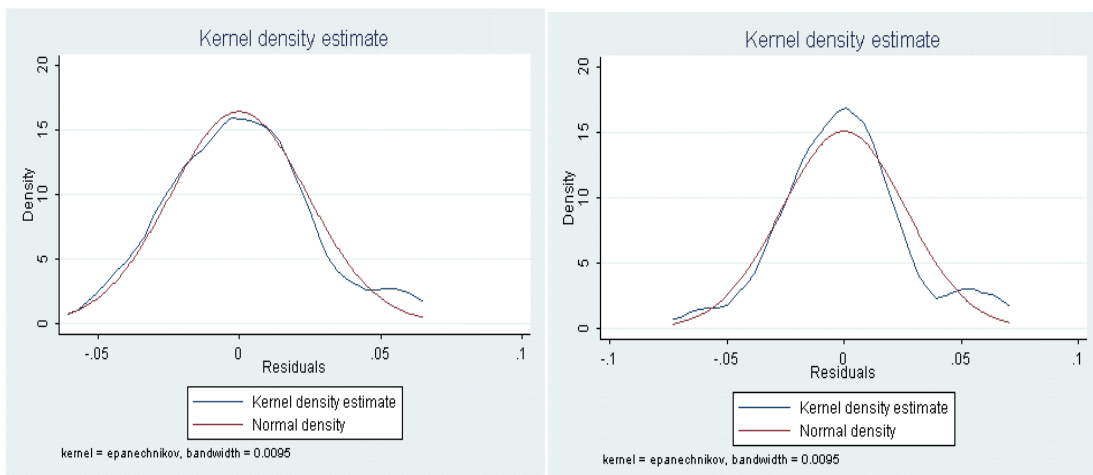
ANEXO 5

Curvas de los residuos de los regresores.

Normalidad de los residuos PPN (1970-2005)



Normalidad de los residuos PPN natural(1970-2005)



Normalidad de los residuos PPN agroecosistemas(1970-2005)

