



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Análisis de la sostenibilidad ambiental del municipio de Palmira en términos energéticos

IVAN DARIO LOPEZ VILLALOBOS

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Administración
Palmira, Colombia

2014

Análisis de la sostenibilidad ambiental del municipio de Palmira en términos energéticos

IVAN DARIO LOPEZ VILLALOBOS

Trabajo final, requisito parcial, para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental

Directora:

Judith Rodríguez Salcedo
MSc. Profesora Asociada

Línea de Investigación:

Análisis de Energía en Sistemas Agrícolas
Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas
GEAL

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Administración
Palmira, Colombia

2014

DEDICO:

A DIOS

Inspiración, Salvación y fortaleza.

Filipenses 4,13.

A mi madre María

Por alcahuetearme siempre, lo bueno.

A mi esposa María Isabel

Por su apoyo incondicional y su paciencia al escucharme dos años de eMergía.

A mi madre María Dolly

Será siempre mi ejemplo de lucha.

A mi hija Mariana

Que sea un ejemplo de perseverancia, para que nunca se rinda en sus aspiraciones.

AGRADECIMIENTOS

Han pasado 10 años desde que inicié el reto de la Ingeniería Ambiental, muchas personas han contribuido con su conocimiento y emotividad, incrementado mi arraigo por esta tierra, a ellos, gracias.

Un reconocimiento Fraternal a:

Judith Rodríguez Salcedo, Ing. Quim. MSc, Por su acompañamiento, conocimiento, apoyo, su objetividad y fuerza espiritual, su consejo en el momento adecuado, fue trascendental para fortalecer el ánimo.

Luz Stella Cadavid, Ing. Quim. Ph.D, Por su motivación y aportes.

Juan Gabriel León Hernández. Ing. Agric. Ph.D. Por sus aportes.

Luis Carlos Pardo L. Ing. Agron. Ph.D. Por sus aportes y consejos.

Luis Octavio González Salcedo Ing. Civil, MSc. Por sus aportes.

Oscar Eduardo Sanclemente Reyes Ing. Amb. MSc. Por sus aportes.

Viviana Vargas Franco. Matem. Ph.D. Por sus aportes en la asignatura de métodos estadísticos.

Guillermo Duque Nivia. B. Ph.D, Por sus aportes en la asignatura de Ecología Aplicada.

A mis compañeros y amigos: *Wilson Murillo, Astrid Puerta, Olga Lucía Pulido, Guillermo Popayán, Esperanza Solís, Andrés Molina, Jenny Ibargüen con toda la gente del GEAL, Diomedes Escamilla, Ana Lucia Realpe, Nicolai Victoria Alvarez, Juan Pablo Urrea, Diego Fernando Saavedra Paz, Reinaldo Giraldo y Felipe Chávez.*

Resumen

La creciente población urbana, aumenta la demanda de recursos naturales, impactando los ecosistemas para mantener servicios ambientales. Esto hace necesario, evaluar el estado de las ciudades como sistemas ecológicos, priorizando la gestión ambiental. Para realizarlo, este estudio, investigó modelos de contabilidad ambiental, hallándose en la síntesis emergética, la propuesta más novedosa. Se tomó como zona de estudio, al municipio de Palmira (Colombia). Se calculó el índice de producción de emergía – EYR (1,46), Índice de carga ambiental – ELR (3,2) e Índice de sostenibilidad ambiental – ESI (0,46). Demostrando que la sostenibilidad ambiental y la generación de riqueza real, están limitadas por el actual uso del suelo, requiriéndose un mejor uso de este recurso. El Tecnoecosistema está sujeto al metabolismo social de la ciudad de Cali, por tanto, la demanda de bienes importados y uso del suelo urbano aumentarán, afianzando la necesidad de gestión de políticas ambientales para el municipio de Palmira.

Palabras Clave: Síntesis emergética, municipios intermedios, Ciudades Emergentes.

Abstract

The increasing urban population increases the demand for natural resources, impacting ecosystems for environmental services. This requires evaluating the status of cities as ecological systems, prioritizing environmental management. To do so, this study investigated environmental accounting models, being in the emergy synthesis, the newest proposal. Was taken as study zone, the city of Palmira (Colombia). Was calculated: the production index has emerged - EYR (1.46), environmental load index - ELR (3.2) and Environmental Sustainability Index - ESI (0.46). Demonstrating that environmental sustainability and generating real wealth, are limited by the current land use, requiring best use of this resource. The Tecnoecosistema is subject to social metabolism Cali city, therefore, the demand for imported goods and urban land use will increase, strengthening the need for environmental management for the municipality of Palmira policies.

Keywords: Emergy synthesis, intermediate cities, emerging cities.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XIII
Introducción	1
1. Capítulo 1. Marco Teórico	3
1.1 Teoría General de Sistemas	3
1.2 Ecosistemas	4
1.3 Termodinámica fundamental para el estudio de sistemas.....	6
1.3.1 Primera y Segunda Ley de la Termodinámica	8
1.3.2 Balance de Energía.....	8
1.4 Termodinámica para sistemas sociales (ciudades).....	9
1.4.1 La energía en las ciudades	10
1.4.2 Estudio de caso: La ciudad de París (Francia)	10
1.4.3 Tecnoecosistemas	11
1.4.4 Energía y Desarrollo	12
1.5 Fuentes de Energía Renovables.....	15
1.5.1 Energía Renovable	16
1.6 El valor del agua y de otras sustancias	17
1.7 Clasificación climática de Holdridge.....	17
1.8 Desarrollo Sostenible o Sustentable	18
1.9 Sostenibilidad Ambiental.....	19
1.10 Sostenibilidad Ambiental en términos energéticos	20
1.11 eMergía	23
1.11.1 Transformidad (Tr)	25
1.11.2 Principio de maximización de la Potencia Emergética.....	25
1.11.3 Modelo de la síntesis emergética	26
2. Capítulo 2. Marco contextual	31
2.1 Sistemas ecológicos urbanos y sostenibilidad	31
2.1.1 Contexto Latinoamericano y Nacional de Sistemas Ecológicos Urbanos.....	31
2.2 Ciudades emergentes y sostenibles	34
2.3 Municipio de Palmira como zona de estudio	35
2.3.1 Educación	36
2.3.2 Salud.....	36

2.3.3	Cuencas Hidrográficas.....	37
2.3.4	Gestión del riesgo.....	37
2.3.5	Agua Potable.....	37
2.3.6	Vivienda.....	38
2.3.7	Agropecuaria.....	38
2.3.8	Uso del Suelo.....	39
2.3.9	Promoción y Desarrollo Económico.....	40
2.3.10	PIB – Producto Interno Bruto Municipal.....	43
3.	Capítulo 3. Metodología.....	45
3.1	Fase 1. Recopilación de información básica secundaria:.....	45
3.1.1	Estimación Pérdidas de Suelo.....	46
3.2	Fase 2: Definición del Tecnoecosistema.....	47
3.3	Fase 3: Cálculo de flujos e indicadores de sostenibilidad.....	48
3.4	Fase 4: Determinación de los temas prioritarios de manejo hacia la sostenibilidad.....	49
3.5	Fase 5: Análisis y entrega de resultados.....	49
4.	Capítulo 4. Resultados.....	4-51
4.1	Tecnoecosistema Palmira (Diagrama de Flujo).....	4-51
4.2	Tabla Emergética – Contabilidad Emergética.....	53
4.3	Indicadores Emergéticos.....	56
4.4	Discusión.....	59
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	61
5.1	Conclusiones.....	61
5.2	Recomendaciones.....	61
A.	Anexo: Memoria de cálculos eEmergía Tecnoecosistema Palmira y Colombia ...	63
B.	Anexo: Cálculo de Transformidad del Dinero y Personas.....	68
C.	Anexo: Tabla Emergética Colombia.....	69
D.	Índices Emergéticos de Colombia.....	71
E.	Estimación de uso del suelo y zonas de vida de Palmira.....	72
F.	Anexo. Tabla Uso del suelo en el municipio de Palmira.....	73
G.	Anexo: Nomogramas para estimación de zonas de vida y pérdida de suelos. ...	74
H.	Anexo. Tabla estimación de perdida de suelo por zona de vida.....	77
	Bibliografía.....	79

Lista de figuras

Figura 1-1. Sistema Cerrado y Abierto	4
Figura 1-2. Diagrama esquemático de los componentes básicos de un ecosistema y sus interrelaciones.	5
Figura 1-3. Modelos del ecosistema donde se enfatiza el ambiente externo, el cual debe considerarse como parte integral del concepto de ecosistema.	6
Figura 1-4. Diferencia de la demanda de energía en Ecosistemas heterotróficos.	12
Figura 1-5. Consumo per cápita de energía a través del tiempo.	13
Figura 1-6. Consumo mundial de energías renovables.	13
Figura 1-7. Emisiones mundiales de CO ₂ futuras.	15
Figura 1-8. Cadena Trófica expresada mediante la ecología de sistemas	23
Figura 1-9. Energía Total de un producto natural - Árbol	24
Figura 1-10. Unidad de medición de la Emergía.	24
Figura 1-11. Fundamentos Teóricos del Modo Emergético	26
Figura 1-12. Símbolos Energéticos para diagramas de flujo	28
Figura 2-1. Límites Municipio de Palmira Departamento del Valle del Cauca	35
Figura 2-2. Principales Usos del Suelo Municipio de Palmira	39
Figura 2-3. Número de Empresas por Actividad Económica.	42
Figura 2-4. Comportamiento del PIB de Palmira.	43
Figura 3-1. Esquema Metodológico en cinco fases	50
Figura 4-1. Tecnoecosistema Palmira 2012	52

Lista de tablas

Tabla 1-1. Flujo de Energía en el Ecosistema París (Francia).....	10
Tabla 1-2. Energías Renovables disponibles y su aplicación	16
Tabla 1-3. Estructura de la tabla emergética	28
Tabla 1-4. Principales índices de estado que se emplean en la síntesis emergética.....	29
Tabla 2-1. Sostenibilidad Urbana	34
Tabla 2-2. Necesidades básicas Insatisfechas municipio de Palmira 2011	36
Tabla 2-3. Indicadores Sector Medio Ambiental Cuencas Hidrográficas	37
Tabla 2-4. Indicadores sector Ambiente, Agua Potable.....	38
Tabla 2-5. Prestación del Servicio de Acueducto	38
Tabla 2-6. Indicadores Sector Vivienda.....	38
Tabla 2-7. Indicadores Sector Agropecuario en Palmira	39
Tabla 2-8. Empleo y Empresas de Palmira	41
Tabla 3-1. Fases para cumplimiento de Objetivos.....	45
Tabla 4-1. Tabla Emergética Tecnoecosistema Palmira (2012)	54
Tabla 4-2. Memoria de Cálculo de eMergía Recursos Renovables.	55
Tabla 4-3. Indicadores Emergéticos.....	57

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Perdida de suelo	Ton/ha.año	
AE	Acumulación de energía dentro del sistema		
C	Factor de cubierta vegetal		
CE	Consumo de Energía dentro del sistema		
CO ₂	Bioxido de Carbono		
Comb.Fosil	Combustible Fósil		
E	Energía total	kJ	
Ec	Energía cinética.	kJ	
ELR	Índice de carga ambiental		Ec. 13
eMergía	Memoria Energética	SeJ	Ec. 10
Ep	Energía Potencial	kJ	
ESI	Índice de sostenibilidad		Ec. 19
EYR	Índice de producción de Emergía		Ec. 12
F	Flujos de Emergía Importada	SeJ	
g	Aceleración gravitacional	m/s ²	
GE	Generación de energía dentro del sistema		
h	Altura	m	
h	Entalpía específica	kJ/kg	
K	Erodabilidad del suelo	Ton/ha.MJ.ha/mm.hr	
L	Longitud	m	
LS	Condiciones topográficas		
m	masa	kg	
msnm	Metros sobre el nivel del mar	m	
N	Flujo de recursos no renovables	SeJ	
Ne	Flujo de Productos exportados	SeJ	
Nn	Flujo de Pérdida de suelos local	SeJ	
P	Presión	kPa	
P	Factor de prácticas de conservación de suelos		
PIB	Producto interno bruto	\$	
Q	Transferencia de calor total	kJ	
R	Erosividad de la lluvia	MJ mm/ha.hr.año	
Rad.Solar	Radiación Solar	kWh/m ² /año	

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
T	Temperatura	°C o K	
TE	Transferencia de energía hacia el sistema a través de los límites	kJ	
TE _R	Transferencia de energía fuera del sistema a través de los límites	kJ	
Tr	Transformidad o Transformicidad		Ec. 8
U	Energía interna total	kJ	
U	Energía Total	SeJ	Ec. 11
V	Velocidad	m/seg	
V	Volumen	m ³	
v	Volumen Especifico	m ³ /kg	
W	Trabajo total	kJ	
Z	Altura potencial - altura del sistema con respecto al observador	m	
Δ	Cambio finito de una cantidad		

Introducción

La población urbana mundial alcanzará los 6 mil 300 millones de habitantes al 2050, esto implica nuevos retos en el campo de la agricultura, empleo, energía, vivienda e infraestructura, también representa retos frente a la expansión de los barrios marginales, y el deterioro del medioambiente alrededor de las urbes, considerando que estas representarían el 75% de emisiones globales de carbono. (ONU 2011).

En ciudades con población entre 100 mil y 2 millones de personas y, alta tasa de crecimiento, el Banco Interamericano de Desarrollo viene avanzando en una plataforma llamada “Ciudades Emergentes y Sostenibles” que trabaja en tres áreas críticas: i) sostenibilidad ambiental y cambio climático, ii) desarrollo urbano y iii) sostenibilidad fiscal y gobernabilidad.. Actualmente se trabaja en proyectos piloto en ciudades de Latinoamérica como son Santa Ana en San Salvador, Puerto España en Trinidad y Tobago, y Trujillo Norte de Perú, tomando como referente, los resultados de la ciudad de Calgary en Canadá, de amplio crecimiento económico, destacándose en el desempeño de las tres áreas.

En Colombia, la configuración de sus municipios, especialmente en el departamento del Valle del Cauca, es de concentración de asentamientos urbanos, desatacándose la ciudad Cali y ciudades intermedias como Palmira, Buenaventura, Tuluá, Buga, Cartago y Zarzal, lo cual, responde a la tendencia de que el 80% de la población Colombiana en el 2020, será urbana de acuerdo con MAVDT (2008).

Desde 1997 a partir de la Ley 388, la planeación de los municipios requiere, un Plan de Ordenamiento Territorial (POT), Plan Básico (PBOT) y Esquema (EOT) según la complejidad por número de habitantes. Además en 2008, se creó la Política de Gestión Ambiental Urbana, que orienta el accionar de los actores institucionales y sociales, en relación con la gestión ambiental en el territorio urbano, que en muchos casos, han presentado ineficiencia e ineficacia, tal vez, por el exceso de burocracia en el desarrollo de los mismos, o desconocimiento de competencias, resultado de ello, se refleja en la crisis por desastres invernales, a lo que se respondió con la denominada “gestión del riesgo”, reglamentada en la Ley 1553 de 2012. Sumado a esto, en el Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014, en el capítulo VI de Sostenibilidad Ambiental Prevención del Riesgo, dentro de la gestión sectorial y urbana, contempla en las acciones tendientes a mejorar la calidad ambiental en las ciudades y hacerlas más amables, la acción cuatro: “Desarrollar modelos de gestión urbana con visión ecosistémica y con responsabilidad urbano regional.”

Para determinar si un sistema urbano es sostenible, incluyendo sus servicios ambientales, existen metodologías que cuantifican el metabolismo de la economía (crematística) o de la sociedad, dependientes de la economía del mercado, sin embargo, los bienes y servicios dados por el trabajo de la naturaleza, se desprecian. Los métodos de valoración energética dan valor al trabajo de la naturaleza independientemente del mercado, considerando flujos de bienes y servicios de manera sistémica, expresándolos en unidades de energía, para así realizar una evaluación integral, y analizar su comportamiento como sistema ecológico.

Es de interés entonces, evaluar la sostenibilidad ambiental del municipio de Palmira, ciudad intermedia, categoría 1, con cerca 300.000 habitantes, con fuerte potencial agronómico y su flujo de bienes y servicios, para valorarlo como sistema ecológico. Esta ciudad fue considerada como la capital agrícola de Colombia hasta los años 80's, sin embargo, esta dinámica cambia a partir de la consolidación de las estructuras de producción agrícola nacional, concentrándose en el cultivo de caña de azúcar y su agroindustria. Cuenta con diversas ventajas comparativas por sus servicios ambientales, dos zonas francas y la disponibilidad de instituciones científicas, educativas y estatales, que la destacan como ciudad región, sumado a esto, la cercanía al puerto de Buenaventura y a la ciudad de Cali, esta última de con cerca de 3'000.000 de habitantes, con gran visión estratégica en la "Alianza del Pacífico", pero con una capacidad de carga ambiental limitada que gira hacia su área metropolitana, especialmente Palmira, que debe afrontarlo como un desafío ambiental y no netamente crematístico.

Este trabajo, aplicó el método de la síntesis emergética, que se basa en la eMergía, como modelo de análisis energético para el municipio de Palmira, sustentado en las leyes de la termodinámica, con una metodología propuesta, que consta de cinco (5) fases, evaluando sus balances de materia y energía, a partir de una recopilación de datos priorizados, de los documentos de prospectiva del municipio, la definición del sistema ecológico con entradas y salidas de bienes y servicios, que incluyen los ambientales, para establecer su sostenibilidad ambiental en términos de eficiencia energética.

Esta sostenibilidad se analizó de acuerdo al cálculo de los indicadores emergéticos, que en este caso fueron, Producción de eMergía (EYR), el índice de carga ambiental (ELR) y el índice de Sostenibilidad Emergética o Ambiental (ESI). Se priorizaron las áreas de gestión de sostenibilidad ambiental, para el diseño de una política transversal, que incluye principalmente el uso efectivo del suelo para la producción de alimentos, que debe consolidarse en la estructura del plan de ordenamiento territorial y así enfrentar los desafíos del cambio climático y la globalización.

Con este estudio, sería la base para la gestión de futuras políticas del municipio de Palmira, con el fin que se proponga como una ciudad "Emergente y sostenible", y que su aplicación, es un avance significativo para la toma de decisiones en los procesos de planeación, que puede ser replicado en municipios intermedios de Colombia.

1. Capítulo 1. Marco Teórico

1.1 Teoría General de Sistemas

Entre los años 1930 y 1970, Von Bertalanfly (1968), desarrolló la Teoría General de Sistemas (General Systems Theory). Aunque su Teoría tiene una base en la Biología, ha influido en muchos científicos en otras disciplinas. Por ejemplo, la teoría de la Cibernética (estudios de retroalimentación) de Wiener (1950) y la teoría de información de Shannon y Weaver, descritas en 1949 (Becht, 1974).

La Teoría General de Sistemas, considera que cualquier porción del universo, puede considerarse como un sistema, es decir, una entidad formada por unidades o componentes interdependientes que interactúan entre sí y funcionan como un todo, como una entidad integrada. (Becht 1974).

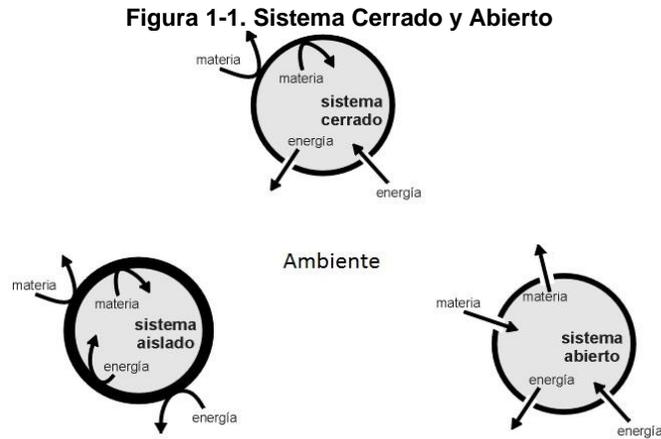
En esta definición, las palabras, “arreglo” y “actúan”, involucran dos características de cualquier sistema: estructura y función. Todo sistema tiene una estructura, relacionada con el arreglo de los componentes que lo forman, y tiene una función relacionada de como “actúa” el sistema. En resumen, Se puede definir un sistema como un arreglo de componentes que funciona como una unidad.

Para establecer los elementos de un sistema, es necesario determinar cómo es la interacción entre sus componentes, es decir, si los límites o frontera en los que se considera la unidad formada por los componentes, funcionan sin tener interacción con otros componentes del ambiente que rodea a la unidad, el sistema se define como cerrado, de lo contrario, cuando hay interacción con otros componentes del ambiente, entradas y salidas de los límites de la unidad, se considera abierto.

En la Figura 1-1, se aprecia la diferencia entre sistema cerrado y abierto, pero, la energía en forma de calor o trabajo, puede cruzar la frontera y el volumen de un sistema cerrado, no tiene que ser fijo. Sí, como un caso especial, a la energía no se le permite cruzar la frontera, este sistema se denomina sistema aislado. (Cengel y Boles 2009).

Los elementos de un sistema serán entonces:

- i. Componentes
- ii. Interacción entre componentes
- iii. Entradas y Salidas
- iv. Limites



Fuente: El Autor (2012)

Los **componentes** de un sistema son los elementos básicos (la materia prima) del sistema. Si se analiza una casa como un sistema, los ladrillos, las tejas, la tubería, etc., son los componentes del sistema. Si un equipo de fútbol es un sistema, los jugadores que integran el equipo son los Componentes del Sistema. Si un cuerpo humano es un sistema, los huesos, la sangre, los tejidos, etc., son entonces los componentes del sistema (Hart, 1985).

La **interacción** entre los componentes de un sistema es lo que proporciona las características de estructura a la unidad, en esto reside la diferencia entre un montón de ladrillos y tejas, de una casa. El montón tienen básicamente los mismos componentes (ladrillos, tejas, etc.) que la casa, pero la interacción entre los componentes es lo que proporciona la estructura y da forma a una casa. Dos cuerpos humanos pueden tener los mismos componentes (músculos, huesos, etc.) pero poseen apariencias (estructuras) muy diferentes (Op. Cit).

Las **entradas y salidas** de un sistema son los flujos que entran y salen de la unidad. El proceso de recibir entradas y producir salidas es lo que da función a un sistema, así como un motor que tiene la función de mover un automóvil es un sistema que toma gasolina (entrada) y produce energía mecánica (salida) que lo mueve. Un hospital es un sistema con la función de recibir enfermos (entradas) y sanarlos (salidas) (Op. Cit).

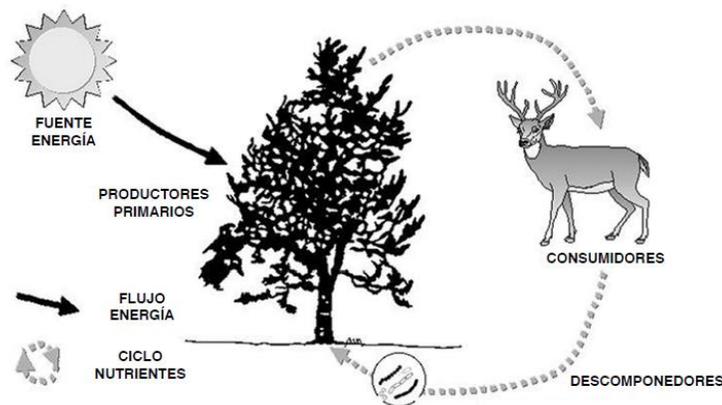
1.2 Ecosistemas

El ecosistema, es el conjunto de las poblaciones de plantas, animales y microbios relacionados entre ellos y con el medio, de modo que el agrupamiento pueda perpetuarse, es la unidad básica funcional en ecología. Es también el conjunto de elementos que pertenecen a una unidad geográfica delimitada y que interactúa entre sí y con los diferentes factores que los rodea. (Álvarez S. et, al. 2006).

Adicionalmente, un ecosistema es un sistema ecológico, es decir, una entidad formada por componentes interdependientes que funciona como un todo. Los componentes básicos son productores primarios (que generan materia orgánica a partir de diversas fuentes de energía, mayoritariamente la solar) y productores secundarios (consumidores y descomponedores), que consumen y degradan esta materia orgánica como se muestra en la Figura 1-2.

El ecosistema es la primera unidad de jerarquía ecológica que es completa: tiene todos los componentes (biológicos y físicos) necesarios para la supervivencia. En consecuencia es la unidad fundamental en torno a la cual se organizan la teoría y la práctica de la ecología. Además, a medida que se hacen evidentes los fallos del “modelo”, en métodos tecnológicos y económicos para resolver problemas complejos cada año que pasa, la administración en este ámbito (administración del ecosistema) surge como un reto para el futuro. Como los ecosistemas son sistemas abiertos desde el punto de vista funcional, es parte importante de este concepto considerar tanto el ambiente de entrada como el de salida, Figura 1-3.

Figura 1-2. Diagrama esquemático de los componentes básicos de un ecosistema y sus interrelaciones.

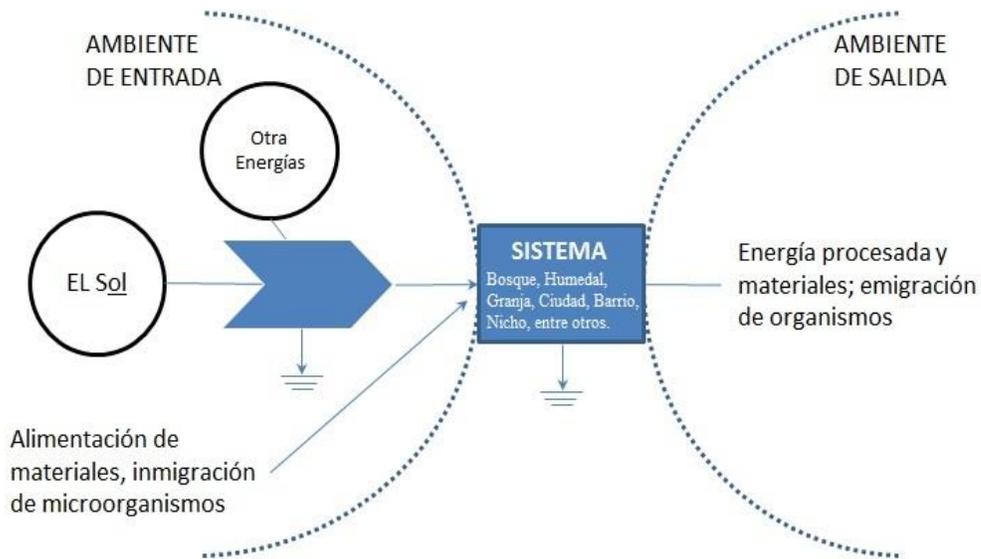


Fuente: Álvarez S. et, al. 2006, modificado de Odum et al., (1998)

El modelo gráfico, de un ecosistema puede consistir en una caja, Figura 1-3, a la cual, se puede llamar el sistema, representa el área de interés, y dos grandes embudos que se puede llamar ambiente de entrada y ambiente de salida. El límite del sistema puede ser arbitrario (de acuerdo a la conveniencia o interés específico o general), delineando un área como un bloque de bosque o la sección de una playa, o bien puede ser natural, como la playa de un lago, considerándose todo el lago como el sistema, o una cordillera como límite de una cuenca.

La especie humana está implícita en el ambiente y ha adaptado sistemas ecológicos (especialmente el urbano) para su forma de vida, que corresponde a una organización ecológica, por lo que el estudio de las interacciones entre la sociedad y su entorno ha permitido analizar, por ejemplo, los niveles de demanda de recursos naturales que el ritmo de consumo económico - el denominado metabolismo social - requiere para su sostenimiento.

Figura 1-3. Modelos del ecosistema donde se enfatiza el ambiente externo, el cual debe considerarse como parte integral del concepto de ecosistema.



Fuente: El Autor, adaptado de Odum. E.P et. Ál (2006)

La mayoría de los estudios ecológicos del fenómeno urbano se han basado, esencialmente, en las modificaciones del medio ambiente natural causadas por la construcción de ciudades y en las consecuencias de las grandes concentraciones sobre la salud física y mental de las poblaciones humanas. En este tipo de análisis, se insiste sobre todo en los aspectos sociales de lo que se podría llamar crisis urbana:

- *Aumento de los problemas de tráfico*
- *Huidas sistemáticas y masivas los fines de semana.*
- *Delincuencia, criminalidad, drogas.*
- *Circuitos comerciales difíciles y complejos.*
- *Negativa de las personas a vivir en bloques tipo torres o pisos de gran altura.*
- *Pérdida total de convivencia entre los habitantes.*
- *Aumento de los problemas insolubles de acumulación de desechos y de suministro de energía.*
- *La difícil administración de los servicios públicos.*
- *Negativa de los jóvenes rurales o de provincias, antiguamente fascinados por las atracciones de la gran capital, a dejar sus lugares de origen.*
- *Enfermedades urbanas, tales como obesidad, el insomnio, el stress, la rinofaringitis, debidas a la contaminación.* Odum. E.P et. Ál (2006)

1.3 Termodinámica fundamental para el estudio de sistemas

Un sistema termodinámico, es una región en el espacio donde hay flujos de entrada y salida de materia, energía e información, figura 1-3. Está definido por fronteras que

dependiendo del flujo de masa, puede considerarse como sistema cerrado, abierto o aislado, este último, cuando no se le permite a la energía cruzar la frontera. Figura 1-1.

La energía es la capacidad para producir trabajo. Puede adoptar formas tales como la energía nuclear, energía magnética, energía química, energía calorífica o la energía asociada a la masa misma, expresada en la ecuación de la equivalencia entre masa y energía $E=mc^2$. (Rodríguez S.J. 2005).

La termodinámica se inició como la ciencia del calor, sin embargo el área de estudio de la termodinámica aplica a la definición: *Termo*: Energía; *Dinámica*: Cambio o Transformaciones. Las formas de energía fundamentales que maneja la termodinámica, en su concepto y leyes son:

i) Energía interna, constituida por la sumatoria de las energías involucradas en la cinética de las moléculas; ii) Trabajo, es la transferencia de energía, entre el sistema y los alrededores, asociada a una fuerza actuando paralelo a una distancia (Cengel y Boles 2009). Para la evaluación del trabajo se emplean diversas ecuaciones, dependiendo de la forma de expresión de la fuerza aplicada al sistema y su relación o dependencia con la distancia que recorre durante la aplicación de la fuerza; iii) Calor, o energía que fluye entre un sistema y sus alrededores o entre dos sistemas como resultado de una diferencia de temperatura; iv) Energía cinética, que un sistema posee, es dada por su propio movimiento con relación al observador o al marco de referencia definido para el sistema; v) Energía potencial del sistema, como su nombre lo indica, es una energía disponible almacenada que requiere una elevación en un campo gravitacional.

Otra propiedad termodinámica utilizada para la valoración de flujos de energía en los sistemas abiertos es la Entalpía, o contenido energético de una masa que fluye hacia o desde los límites del sistema e incluye la suma de la energía interna y el trabajo involucrado en el flujo (Op. Cit).

Para el estudio de la termodinámica, se establecen los conceptos y leyes entre las cuales se encuentran: i) *Ley de conservación de la energía*, mediante las cuales se puede evaluar el estado y cambio en todos los sistemas y ecosistemas, ii) *La segunda ley, hace referencia a la eficiencia de los sistemas*. iii) *La tercera ley, afirma que en el cero absoluto* la entropía de una sustancia pura es nula; otros autores han propuesto otras dos leyes para la valoración de ecosistemas y sus servicios ambientales, como; iv) *Cuarta Ley, de Maximización de la potencia emergética*, según la cual, los sistemas más competitivos son aquellos que obtienen el máximo partido de la energía disponible mediante flujos de retroalimentación de sus procesos productivos. Y por último v) *Quinta Ley, la Jerarquía de transformación energética*, que señala que los flujos de energía del universo están organizados en una jerarquía de transformación energética ligada al proceso de disipación de la energía o aumento de la entropía.

1.3.1 Primera y Segunda Ley de la Termodinámica

La primera Ley es una expresión del principio de la conservación de la energía mediante la cual se verifica que la cantidad total de la energía manifestada en todas sus formas, permanece constante. No obstante que la energía puede cambiar de una forma a otra, la suma de todas las formas debe permanecer constante.

La segunda ley enuncia: “Toda vez que alguna energía se dispersa siempre en energía de calor no aprovechable, ninguna transformación espontánea de energía (la luz por ejemplo) en energía potencial (protoplasma, por ejemplo) es 100% eficaz. (Odum 1983).

En virtud de la segunda ley, la energía solar, de baja entropía, es decir, de una alta concentración, va cambiando a formas de más alta entropía, a formas de energía dispersa, a medida que se mueve alumbrando al planeta y concretamente al interior de los ecosistemas; ello explica en gran parte la alta productividad que se registra en ciertos biomas terrestres, que como las selvas tropicales se tipifican por recibir mayor radiación durante la mayor parte del año, favoreciendo el desarrollo de una exuberante biota de gran diversidad de especies (Rizo, G. 1993). Estas dos leyes permiten establecer al interior de los ecosistemas un orden según la manera como se organicen los individuos que en él se encuentran en relación con su fuente de energía.

1.3.2 Balance de Energía

Para realizar un balance de energía es muy importante reconocer el tipo de sistema antes de empezar el análisis y desarrollar actividades de cálculo de energía, debido a que las relaciones o ecuaciones termodinámicas aplicables a sistemas cerrados o abiertos, adiabáticos o diatérmicos de frontera móvil o fija, son diferentes.

Para un sistema abierto hay un flujo a través de la frontera donde la masa puede entrar y salir. Por la ley de la conservación de la masa, puede suceder que el flujo de masa que entra en un sistema abierto iguale con exactitud el flujo de masa que sale, y no hay cambio en el flujo de masa con el tiempo, entonces se habla de flujo “estable” o “estacionario”, o puede suceder que los flujos de masa de ingreso o egreso del sistema no sean numéricamente iguales, pero para efectos de cálculos se toman flujos uniformes con el tiempo, se habla entonces de procesos “uniformes” siendo necesario definir la base del tiempo para los cambios de masa en los procesos. (Rodríguez S.J. 2005)

La ecuación general de conservación de energía es:

$$[AE] = [TE] - [TE_R] + [GE] - [CE] \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

AE =Acumulación de la energía dentro del sistema

TE =Transferencia de energía hacia el sistema a través de los límites.

TE_R =Transferencia de energía fuera del sistema a través de los límites.

GE = Generación de energía dentro del sistema.

CE = Consumo de energía dentro del sistema

1.4.1 La energía en las ciudades

Para que sean útiles, los balances energéticos deben estar obligatoriamente contruidos de acuerdo con el principio de la conservación de la energía. Para ello, se debe determinar las fuentes de energía y las etapas de transformación y de utilización. En otras palabras, se analiza el flujo de energía. Se conoce lo que es un flujo, por una parte porque el ecosistema urbano es un sistema abierto (en sentido físico), de modo que es posible considerar las entradas de energía y salidas; por otra, porque este flujo de energía está regido por el segundo principio de la termodinámica: la energía no puede ser transformada sin degradación, por ejemplo, si un cambio desde una forma concentrada a una forma dispersa. (UNESCO 1996).

Todos los estudios de ecosistemas urbanos deben centrarse particularmente en distinguir entre energía bruta, neta y primaria:

Energía bruta: Es la cantidad total de energía presente en cualquier estado de la cadena de transformación de energía.

Energía Neta: Es igual a la energía bruta menos la energía necesaria para mantener (renovación) la energía bruta y menos la energía necesaria para su utilización (extracción o separación, transporte, asimilación). Es una cantidad real que puede ser transformada y utilizada para fines específicos.

Energía primaria: Es la energía disponible después de la transformación de la energía solar por las plantas, primeros eslabones de la cadena de transformación en los ecosistemas naturales.

Los órdenes de magnitud entre energía bruta y energía neta son muy diferentes y dependen de la organización de cada sistema; en un sentido, la diferencia puede servir como medida de su rendimiento en la utilización de la energía en la ciudad.

Para el consumidor individual, sólo cuenta la energía neta, que es utilizable a su nivel. Pero, para el estudio de un sistema y de sus relaciones con otros sistemas, se debe saber de qué tipo de energía bruta se deriva la energía neta.

En el caso de los ecosistemas urbanos, el suministro de energía, principalmente a partir de los combustibles, hace compleja la determinación de la energía; porque según el lugar de su introducción en los procesos de transformación, pueden ser considerados bien como energía bruta, bien como energía neta. (UNESCO 1996).

1.4.2 Estudio de caso: La ciudad de París (Francia)

Se presenta a manera de ejemplo los resultados esenciales de un estudio completo de los flujos de energía que sostiene el metabolismo de la ciudad de París. Los flujos de energía son divididos en flujo de energía natural y flujo de energía subsidiario importado. Véase Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Flujo de Energía en el Ecosistema París (Francia)

Forma de Energía	Cantidad
Energía Natural	10.377 x 10 ³ TJ
Energía alimenticia (energía primaria)	64 x 10 ³ TJ
Energía de combustibles (energía primaria)	589 x 10 ³ TJ

Fuente: B. Dambrin 1982. UNESCO 1996.

A pesar de una aportación importante de energía natural, el ecosistema urbano es un consumidor de energía en forma de alimentos y combustibles; esta energía importada

representa alrededor de un 6% de la energía natural; los productos del petróleo ocupan el primer puesto (58,8%), durante el consumo de gas (19,8%).

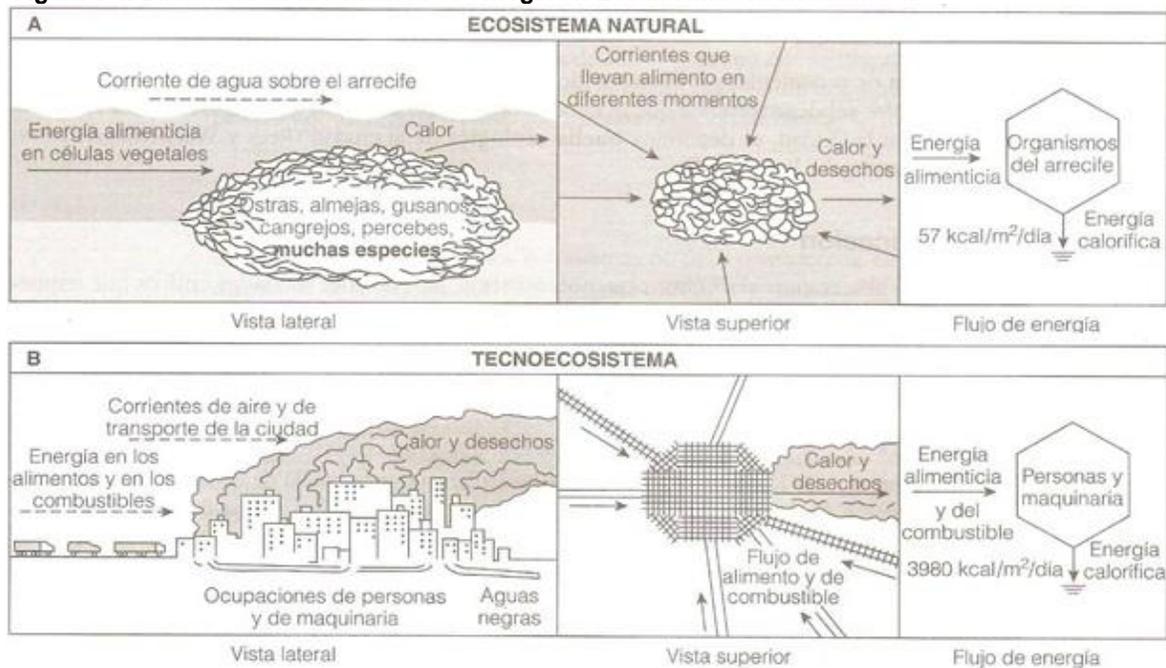
Otras características del ecosistema urbano: una pequeña cantidad de energía natural se utiliza en el ciclo del agua o en la producción de materia orgánica (respectivamente, 3,6 TJ y 0,05 TJ/ha) comparado con 15 a 20 TJ/ha y alrededor de 0,2 TJ/ha en los ecosistemas naturales de los alrededores de París; en cambio, la transferencia de calor por convección es más intensa: 15,1 TJ/ha frente a sólo unas pocas TJ/ha en los campos de los alrededores de París. Esta característica da al hombre margen de maniobra para controlar el ecosistema urbano.

1.4.3 Tecnoecosistemas

Los Tecnoecosistemas, son ordenamientos nuevos de la sociedad urbana-industrial, ciudades, fincas, granjas, industrias, entre otros, que compiten energéticamente con los ecosistemas naturales y terminan dependiendo de ellos, incluyen fuentes de tecnología avanzada y altos requisitos energéticos. Odum. E.P et. Ál (2006).

Esta definición, sirve para distinguir la diferencia entre ecosistemas naturales y ecosistemas artificiales, especialmente las ciudades, donde la demanda de energía es mucho mayor para garantizar las necesidades antrópicas de una sociedad de consumo, figura 1-4.

Una ciudad se puede considerar un ecosistema, tal como lo es un bosque, pues es un sistema funcional con biocenosis (población humana esencialmente, poblaciones de animales y vegetales reducidas) un medio ambiente climático particular y poseen un metabolismo (flujo de energía, de materias, ciclo hidráulico, etc). Como lo muestra la Figura 1-4 y que se procede a detallar: (A) Una de las "ciudades" de la naturaleza: Arrecife de ostras que depende de la entrada de energía alimenticia de una gran zona del ambiente circundante. (B) Tecnoecosistema construido por el hombre (ciudad industrializada) y que se mantiene gracias al considerable flujo de entrada de combustibles y de alimentos y que tiene en consecuencia un flujo de salida muy grande de desechos y de calor. Sus requisitos energéticos, por m² de área, son aproximadamente 70 veces mayores que los del arrecife, cercanos a 4000 kcal/m²/día, lo cual, equivale aproximadamente a 1.5 millones de kcal al año (H. T. Odum, 1971).

Figura 1-4. Diferencia de la demanda de energía en Ecosistemas heterotróficos.

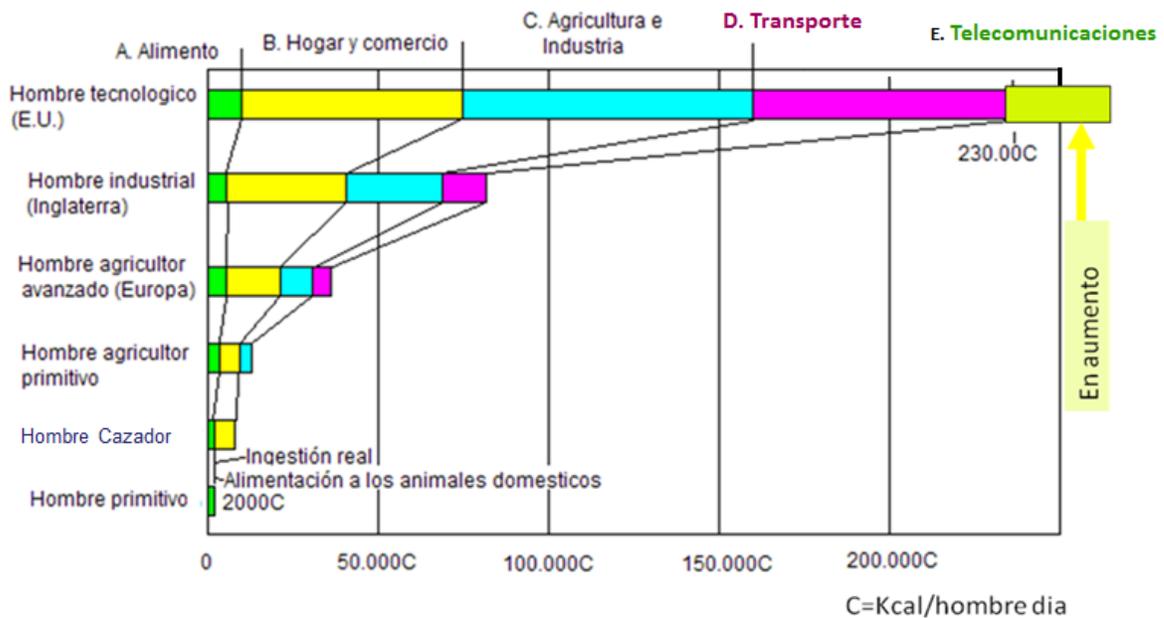
Fuente: Odum. E.P et. Ál (2006)

Para que las sociedades urbanas-industriales sobrevivan en un mundo finito, es imperativo que los Tecnosistemas formen una conexión con los ecosistemas naturales de sustento de vida de una forma más positiva o mutualista.

1.4.4 Energía y Desarrollo

La naturaleza y la intensidad de la utilización de la energía caracterizan, en gran parte, las diferentes clases de sociedades. Históricamente, esto es también cierto para todas las sociedades pasadas. A finales del siglo XVIII, cuando la máquina de vapor de James Watt comenzó a jugar un papel importante en la industria de Inglaterra, Europa estuvo irrevocablemente comprometida con la revolución industrial. La extracción a gran escala del carbón fue una de las bases esenciales de la predominancia de Inglaterra y de Europa en la economía mundial del siglo XIX. El petróleo y el motor de explosión, el desarrollo de las redes eléctricas, permitieron a los Estados Unidos y a Europa afirmarse en su dominio de la economía de mercado. La figura 1-5, muestra las necesidades energéticas más elementales de la población, ligado al uso de las tecnologías, para generar desarrollo, dirigido a los sectores dedicados a la exportación hacia los países industrializados. (UNESCO, 1996).

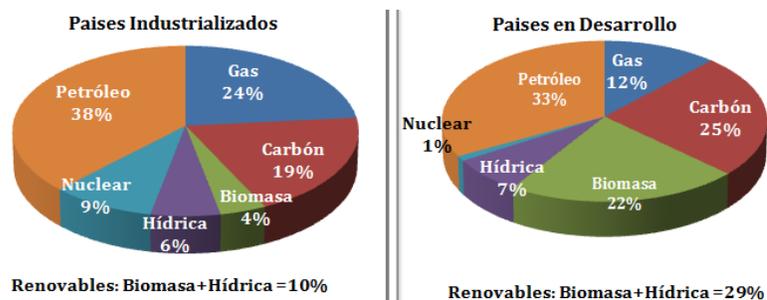
Figura 1-5. Consumo per cápita de energía a través del tiempo.



Fuente: Rodríguez J. Asignatura Energía y Ambiente 2012. Adaptado de Goldemberg et al. 2003

El desarrollo reciente de nuevas formas de energía, como la energía nuclear, prolonga esta historia desde la segunda guerra mundial. Durante este periodo y hasta 1973, en los países del Hemisferio Norte, el desarrollo económico pareció estar fuertemente relacionado con el consumo creciente de la energía primaria y la explotación de recursos mineros, como actualmente sucede con los Países del Hemisferio Sur. En la época actual, se ha implementado el uso de energías renovables como se observa en la figura 1-6. El consumo de energía per cápita es considerado como un indicador importante del desarrollo y hay una tendencia a pensar que el progreso de las civilizaciones está basado en la movilización de fuentes de energía cada vez más importantes: todavía hoy, a pesar de una situación económica de crisis económica, muchos estados continúan pensando que deben copiar a los grandes países industrializados con sistemas energéticos hiperdesarrollados. (Goldemberg et al, 2003)

Figura 1-6. Consumo mundial de energías renovables.



Fuente: (Goldemberg et al, 2003)

El sector agroalimentario es con frecuencia un ejemplo significativo de falta de uso racional de la energía, con tecnologías costosas (irrigación por bombeo en lugar de

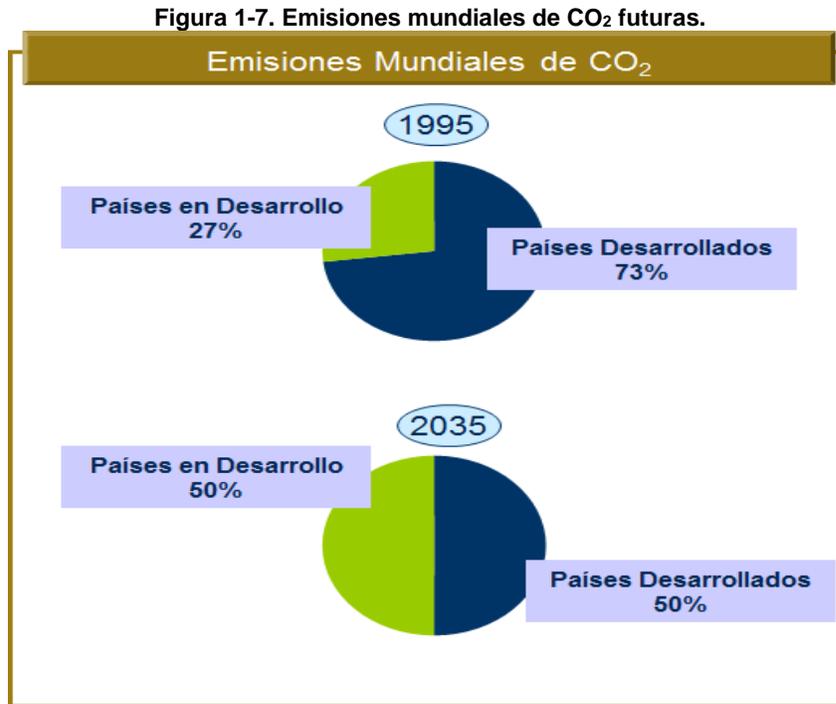
gravedad, secado de las cosechas por diversos métodos industriales en lugar de por la simple exposición del sol, un rancho en lugar de una granja tradicional). Muchos países pobres de Asia y África están agotando sus recursos con la exportación de los productos de sus cultivos, siendo las ganancias insuficientes para equilibrar facturas petroleras cada vez más pesadas.

La demanda mundial de energía, se prevé que crezca a una tasa de 1,8% al año entre 2000 y 2030. El impacto del crecimiento económico y de población (respectivamente 3,1% y 1% al año en promedio), es moderado por una disminución de la intensidad energética del 1,2% al año, debido a los efectos combinados de los cambios estructurales en la economía, de los avances tecnológicos y del aumento de los precios energéticos. Los países industrializados experimentan una desaceleración en el crecimiento de su demanda de energía a un nivel de, por ejemplo 0,4% al año en la Unión Europea (UE). Por el contrario, la demanda de energía de los países en desarrollo crecerá rápidamente. En 2030, más de la mitad de la demanda mundial de energía se espera que proceda de países en desarrollo, en comparación con 40% en la actualidad (WETO, 2003).

El sistema energético mundial seguirá estando dominado por los combustibles fósiles, con casi el 90% de la oferta total de energía en 2030. El petróleo seguirá siendo la principal fuente de energía (34%) seguido por el carbón (28%). Casi dos terceras partes del incremento en el suministro de carbón entre 2000 y 2030 provendrán de Asia. Se prevé que el gas natural representará una cuarta parte del suministro mundial de energía para el año 2030, donde la generación de energía proporciona la mayor parte del incremento. En la UE, se espera que el gas natural sea la segunda fuente de energía más grande, después del petróleo, seguido del carbón. La energía nuclear y renovable representaría en conjunto algo menos del 20% del suministro energético de la UE (Op. Cit)

Dado el predominio continuado de combustibles fósiles, se espera que las emisiones mundiales de CO₂ aumenten más rápidamente que el consumo de energía (2,1% al año en promedio). En 2030, las emisiones mundiales de CO₂ serán más del doble que en 1990. En la UE, se prevé que las emisiones de CO₂ aumenten en un 18% en 2030, comparadas con el nivel de 1990. En los EE.UU. el aumento es de alrededor del 50%, mientras que las emisiones de los países en desarrollo representaron un 30% del total en 1990, éstos países serán responsables de más de la mitad de las emisiones mundiales de CO₂ en 2030. Este escenario lo muestra la Figura 1-7. (Op. Cit)

El desafío ambiental, sigue siendo la aplicación del Protocolo de Kioto (1997), el ahorro y desarrollo energético contiene: i) intensidad energética, ii) competitividad y ii) uso racional de la energía. Según el WETO (2003), el haberle dado valor al carbono de los combustibles fósiles, las emisiones de CO₂ en 2030 serán 21% más bajas que en la referencia a nivel mundial, y del 26% más bajo en la UE y los países de adhesión. A nivel mundial y en la mayoría de regiones, esta reducción se consigue mediante la reducción de la igualdad de la demanda energética y de la intensidad de carbono del consumo de energía.



Fuente: Agencia de Protección Medio Ambiente EE.UU. (2003)

Más de la mitad de la reducción mundial de CO₂ al 2030, se logrará en el sector de la industria por la eficiencia energética. La sustitución del carbón y en menor porcentaje de la gasolina se hará por gas y biomasa. La demanda de gas se mantiene más o menos estable. Por el contrario, el consumo de biomasa aumenta significativamente y la energía nuclear avanza considerablemente, mientras que las grandes centrales hidroeléctricas y geotérmicas se mantienen estables y, por último, eólica, hidráulica y solar dan un pequeño salto (Op. Cit).

1.5 Fuentes de Energía Renovables

Existen diferentes fuentes de energía asociadas a los sistemas ecológicos urbanos, por su posición geoespacial, con alto potencial de recursos energéticos renovables y alternativos, como son: Sol, viento, pequeñas centrales hidroeléctricas -PCH-, biomasa, energía de los océanos y geotermia.

En el caso de Colombia, la energía potencial de estos recursos, en la medida en que existen estudios iniciales, buscan cuantificarlos mediante mapas: de radiación solar, preliminar de vientos y de otros recursos. ¹

¹ La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) trabaja conjuntamente con el IDEAM en la elaboración de mapas de potencial de estas fuentes, en cooperación con otras entidades nacionales, y que están disponibles para ser consultados en la página web de la UPME, www.upme.gov.co, en la sección de energías alternativas.

Investigaciones que se han hecho durante años, en todo el mundo, han permitido evaluar y determinar en qué regiones puede aprovecharse mejor un determinado recurso. Es así como en nuestro país se encuentran regiones donde la radiación solar por metro cuadrado es mayor que en otras.

1.5.1 Energía Renovable

La energía renovable es la que se aprovecha directamente de recursos considerados inagotables como el Sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor del interior de la Tierra. La dependencia del petróleo, el carbón y el gas ha generado conflictos de orden político (guerras entre naciones) y ambiental (emisiones de dióxido de carbono, azufre, etc.); por esta razón, en los últimos años se ha hecho necesario invertir en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía que funcionen con recursos renovables (UPME 2010).

Tabla 1-2. Energías Renovables disponibles y su aplicación

RECURSO	TECNOLOGÍA	ELEMENTOS	APLICACIÓN
SOLAR	Fotovoltaica Térmica Pasiva	Celdas Solares Colectores Muros, ventanas, etc.	Electricidad Calor, electricidad Calor, iluminación y ventilación
EOLICA	Generación eléctrica Fuerza motriz	Aerogeneradores Aerobombear	Electricidad Fuerza motriz
BIOMASA	Digestión anaerobia Gasificación Pirolisis Fermentación Alcohólica Esterificación Combustión	Biodigestor Gasificador Pirolisador Destilería Unidad de esterificación Hornos, calderas	Biogás Combustible y electricidad Gas combustible Combustible Bioetanol Biodiesel Calor, electricidad
HIDRAULICA	Centrales Hidroeléctricas Pequeños aprovechamientos	Pequeñas centrales Ruedas	Electricidad Fuerza motriz
OCEANOS	Mareas Olas Diferencia de temperatura Corrientes marinas	Barreras, turbinas Flotadores, columnas, aparatos focalizantes Turbinas, condensadores	Electricidad Electricidad Electricidad Electricidad
GEOTERMIA	Generación eléctrica Usos directos	Plantas de energía Aguas Termales	Electricidad Calor, recreación, salud.

Fuente: El Autor, adaptado de UPME (2010).

Para el ser humano es claro que estas fuentes de energía están disponibles en su entorno, entonces su interés por explotarlas también radica en una mejor administración de los recursos locales. Además, en el mundo entero el término renovable se asocia con la disminución de emisiones contaminantes y con la "no-producción" de desechos, lo cual, garantiza un medio ambiente más limpio y apropiado para nosotros y para las futuras generaciones. Actualmente las energías renovables cubren cerca del 20% del consumo mundial de electricidad. La tabla 1-2, presenta un resumen de las energías renovables disponibles y su aplicación.

1.6 El valor del agua y de otras sustancias

Un error fundamental de evaluación energética de los sistemas ha sido el de considerar a los recursos naturales como regalos y no como productos del sector ecológico de nuestra economía que ha de pagarse. (Rodríguez, J. 2005).

La escorrentía superficial del agua de lluvia recoge las sustancias disueltas al descender por una cuenca hidrográfica, de forma que el contenido puede pasar de 1 ppm a 10 ppm al llegar al delta. Después, al llegar al mar abierto, pasa de 100 ppm a 35000 ppm. El valor del agua como reactivo para lavar y disolver sustancias y para realizar muchas funciones vitales ha decrecido al avanzar corriente abajo, proceso acelerado por quienes la utilizan para la limpieza o con otros fines industriales. Al realizar cálculos, el valor de la energía potencial del agua como combustible para los procesos de lavado es 10 veces superior al que tiene con fines hidroeléctricos (en zonas de topografía normal). El agua puede ser más valiosa como combustible químico que como fuente de energía hidroeléctrica. Se puede hacer resaltar el valor del agua, expresándolo en términos monetarios en el contexto de la economía global (10.000 kcal/dólar). Cuando se hace esta operación, unos 400 galones de agua valen un dólar como combustible industrial. Compárese esto con las cifras del coste habitual del agua y de su tratamiento, de 1.000 a 5.000 galones por dólar (Odum 1980).

Las anteriores aseveraciones de Odum corresponden al año 1.980 en los Estados Unidos, sin embargo, de aquí se rescata la gran capacidad solubilizante del agua con el consecuente aporte energético involucrado. Aunque esos cálculos dan valores más elevados para el agua, hay otros usos en los que estos pueden ser superiores. Según el valor más alto, puede resultar preferible destinarla a un uso en un lugar a otro más rentable en distinto sitio. (Rodríguez S. J. 2005).

1.7 Clasificación climática de Holdridge

La vegetación natural depende de factores climáticos como lo es el calor, la precipitación y la humedad. Propone que la asociación debe concebirse como una unidad natural en la cual la vegetación, la actividad animal, el suelo, están todos interrelacionados en una combinación reconocida y única, que tiene un aspecto o fisionomía típica. Las agrupaciones de asociaciones con base en la cuantificación de algunos parámetros climáticos se denominan zonas de vida. Son conjuntos naturales de asociaciones, sin importar que cada grupo incluya una cadena de diferentes unidades de paisaje o de medios ambientales, que pueden variar desde pantanos hasta crestas de colinas. Al mismo tiempo, las zonas de vida comprenden divisiones igualmente balanceadas de los tres factores climáticos principales, es decir, calor, precipitación y humedad. (Holdridge, L., 1987).

La progresión logarítmica de temperatura y de valores de precipitación, suministra una base teórica sólida para establecer divisiones balanceadas igualmente. Holdridge, L., (1987), se basó en los estudios de Mitscherlich, el cual mostró que, cuando un elemento es un factor limitante en la alimentación de las plantas; las adiciones de ese elemento hasta la cantidad que pueda ser utilizada, deben incrementarse en progresión logarítmica, si se desea obtener una secuencia de incrementos iguales en la producción. Ver figuras en el Anexo G.

Las zonas de vida se definen con base en los valores promedios anuales de calor, utilizándose el concepto de biotemperatura. Este autor define la biotemperatura promedia

como un promedio de las temperaturas en °C a las cuales tiene lugar crecimiento vegetativo, en relación con el periodo anual. Se estima que el ámbito de las temperaturas dentro de las que ocurre el crecimiento vegetativo, está entre 0°C como mínimo y 30°C como máximo. Holdridge propone para obtener un valor aceptable, sumar las temperaturas horarias, eliminando las lecturas por debajo de 0°C y por encima de 30°C, y dividir la suma por el número total de horas del año. Puesto que generalmente se dispone de promedios mensuales de temperatura se ha desarrollado una fórmula empírica que convierte una temperatura promedio mensual en grados centígrados (T) a una biotemperatura promedio mensual. Montealegre F. A (1998).

La fórmula es la siguiente:

$$T_{(\text{biológica})} = T^{\circ} \text{ media} - (3 \times \text{grados de latitud}) / 100 \times (T^{\circ} \text{ media} - 24) \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

$T_{(\text{biológica})}$: Temperatura biológica

T° : Temperatura en grados Celsius (°C)

1.8 Desarrollo Sostenible o Sustentable

En este trabajo se hace referencia al término “desarrollo sostenible” y “desarrollo sustentable”, sin distinción, sin embargo, se hace debe hacerse aclaración, debido a diversos autores, que insisten hacer marcadas diferencias entre sostenible y sustentable, que en la práctica, radican solo en una discusión gramatical.

El concepto de desarrollo sostenible (DS) entró en escena en 1987, que se define como: “*el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades*” (WCED, 1987). Su importancia histórica se debe, a pesar de su resumida definición, al logro del apoyo político unánime que lo convirtió en referente universal para la formulación de políticas públicas eco-compatibles, sin embargo, existe una discusión entre sostenido, sostenible y sustentable; algunos hablan de la palabra duradero en lugar de sostenible, con lo cual, se eliminaría uno de los problemas teóricos más controvertidos. Para otros autores, hay diferencia entre sustentable y sostenible, la diferencia surge de una discusión gramatical como muchas de las que ha habido en América Latina. García (2003).

El término desarrollo sostenible se utiliza por primera vez en 1980, en la publicación del informe titulado Estrategia Mundial para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, donde se identifican los principales elementos en la destrucción del hábitat: pobreza, presión poblacional, inequidad social y términos de intercambio del comercio. (Op. cit.)²

² García (2003) afirma que: “*Cuando se empezó a traducir, sustainable, por, sostenible, los chilenos dijeron que sostenible no existía en español y propusieron sustentable. El término de, desarrollo sustentable, surgió en un informe de las Naciones Unidas, de una comisión encabezada por la señora Brundtland, que era primera ministra de Noruega y ex-directora de la Organización Mundial de la Salud, conocido así como el Informe Brundtland. Entonces ese informe sirvió de base para la Conferencia que se convocó en 1992, se llevaron a cabo cinco años de preparativos para la Conferencia de Río de Janeiro, y ahí fue donde se consagró el término del desarrollo sustentable. Por qué se llama sustentable. En primer lugar, los documentos decían en español, sostenible, pero, parece ser que los traductores de Naciones Unidas o la gente que manejaba la Conferencia, consideró que ese término no era muy claro, porque podía significarse más de lo mismo, es decir si el desarrollo estaba ocurriendo al 5% anual, pues, que siga al 5% anual y no nos preocupemos del ambiente. En inglés sí tiene sentido porque, sustainable, significa sostener una cosa, pero, con sentido más que cuantitativo, ético y cualitativo; algo que pueda perdurar, por ello en la Conferencia de Río se usó el término como desarrollo sostenible.*”

El término de desarrollo sustentable aparece en el Informe Brundtland de 1987, el cual, sirve de sustento, para la Conferencia de Río de Janeiro de 1992, donde finalmente se proclama el desarrollo sostenible para el desarrollo de políticas globales.

No obstante, estos términos corresponden a los denominados “adjetivos verbales”, por cuanto se derivan de los verbos: sostener y sustentar; en este sentido, respecto al lenguaje (conjunto de sonidos articulados con que el hombre manifiesta lo que piensa o siente), léxico (vocabulario de un idioma o región) y semántica (significación de las palabras), los adjetivos sostenible y sustentable son sinónimos, como lo son los verbos de los cuales derivan, y por tanto su uso no se percibe clara y distintamente, a excepción del gusto o necesidad del usuario y sin que el empleo de uno u otro de los términos obedezca a una regla en particular (Márquez, 2000).

1.9 Sostenibilidad Ambiental

Es oportuno explicar el término “sostenibilidad ambiental” y como este se relaciona con el llamado “desarrollo sostenible”. Este término tiene que ver, ante todo, con la preservación de las funciones ecosistémicas, que deben analizarse en el contexto de las interrelaciones sociedad-naturaleza, pues la sociedad, no solamente funciona como agente de cambio, sino, que responde a las condiciones ambientales cambiantes. Estos enlaces permiten visualizar a la sostenibilidad ambiental en el espacio de la interfaz (sociedad-naturaleza), la cual, se llama habitualmente la dimensión ambiental.

El desarrollo consta entonces de varias dimensiones, dentro de las cuales, la ambiental, cumple la función de garantizar la sostenibilidad ambiental del desarrollo. “Esta representa la base natural sobre la que se sustenta el desarrollo, es decir, de un lado las posibilidades ecosistémicas para generar bienes y servicios ambientales y del otro, las posibilidades culturales para entender, aprovechar y proteger responsable y, sosteniblemente al medio ambiente”. Esta dimensión es entonces transversal a las demás dimensiones del desarrollo. (Vega, 2005 p. 41-42)

La dimensión ambiental tiene la misión de garantizar la sostenibilidad ambiental del desarrollo, misión que cumple a través de procesos sistémicos. “Esta dimensión representa la base natural sobre la cual se sustenta el desarrollo de una nación”, cuyo deber ser es la recuperación y rehabilitación de los ecosistemas; el aprovechamiento sostenible de los bienes y servicios ambientales y la conservación de ecosistemas estratégicos. (Op. cit. p. 42).

Existe la necesidad de mantener el tamaño de la economía global dentro de los límites de capacidad biofísica que tiene la ecosfera, que por tanto repercute en lo local. Este objetivo de controlar el crecimiento (incremento en el consumo de materia y energía) y potenciar el desarrollo económico (mejora de la calidad) dentro de esos límites, pero sin comprometerlo o detenerlo, es lo que se pretende bajo el escurridizo concepto, pero valioso argumento estratégico de, Desarrollo Sostenible o Sostenibilidad (Comisión mundial del medio ambiente y desarrollo, 1988) Álvarez S. et, al. (2006). Es decir, promover un desarrollo sin un crecimiento en consumo de energía y materiales por

encima de la capacidad de carga o acogida de los ecosistemas (Daly, 1991), esto en términos del mantenimiento de su funcionalidad.

Se ha hecho entonces cada vez más evidente que dicho desarrollo sostenible, pasa por integrar los objetivos de la economía y la ecología, sin olvidar la sociología, ya que los sistemas socio-económicos se interrelacionan y, en última instancia, dependen, de los sistemas ecológicos para subsistir (Costanza, 1997; Costanza et al., 1997). Surge así la idea de socio-ecosistema, o sistemas ecológicos relacionados y/o afectados profundamente por los sistemas socio-económicos que forman parte de ello (Anderies et al., 2004).

1.10 Sostenibilidad Ambiental en términos energéticos

En el contexto de la economía del medio ambiente y los recursos naturales, podría definirse la valoración económica ambiental, como todo intento de asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios proporcionados por recursos naturales, independientemente de si existen o no precios de mercado que nos ayuden a hacerlo, (Convención Ramsar, 1997). Por lo tanto, el objetivo primordial al hacer estudios de valoración económica de bienes y servicios ambientales, es encontrar una medida monetaria del valor económico generado por el flujo de bienes y servicios no mercadeables, derivados de los recursos naturales. Esta medida constituye una aproximación de los beneficios que generan para la sociedad una asignación del recurso a un óptimo social o privado. Las metodologías crematísticas, es decir, relativo al valor del dinero, encontradas para realizar estas valoraciones, son las siguientes (MAVDT 2003):

- a. *Metodologías basadas en precios del mercado.*
- b. *Metodologías directas para la valoración económica de bienes y servicios ambientales.*
- c. *Metodologías indirectas para la valoración económica de bienes y servicios ambientales.*
- d. *Método basado en costos.*

Los servicios ambientales constituyen los flujos de energía, materia e información de los sistemas ecológicos que aprovecha el ser humano. De esta forma se aproximarían a un concepto más sistémico de recurso natural, definiendo que los recursos no pueden considerarse de una manera aislada, sino dentro de la trama de interacciones biofísicas de un ecosistema. Por esta razón, si los recursos naturales no son más que los bienes y servicios que los seres humanos extraen o pueden extraer de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, es evidente que sin un conocimiento profundo de estas unidades funcionales que conforman nuestro planeta no se puede elaborar modelos sólidos de sostenibilidad. Se intenta romper la práctica tradicional de considerar a los recursos naturales como elementos aislados y no como componentes de un socio-ecosistema (Álvarez S. et, al. 2006).

Se entiende que los ecosistemas tienen una dimensión social, ya que algunas de sus funciones ecológicas generan servicios (polinización, asimilación de residuos, fertilidad del suelo, depuración de aguas, placer estético y emocional, etc.) y algunos de los elementos de su estructura biótica y geótica, producen bienes (especies con interés comercial cinegético, pesquero, ganadero, agrícola, forestal, reservorio genético, suministro de agua, minerales, etc.) que pueden tener valor económico o no tenerlo en los sistemas de mercado, pero, en cualquier caso, producen beneficios indispensables para la economía, la salud pública y el bienestar general de los seres humanos (Daily, 1997).

En este contexto, los ecosistemas sanos, constituyen un capital natural del que es necesario mantener una reserva mínima (ecosistemas funcionales) que asegure su renovación de forma permanente para no descapitalizar a la sociedad que lo utiliza, es decir, un Capital Natural Crítico. Su explotación sostenible constituye el suministro actual y potencial de bienes y servicios indispensables para el mantenimiento del capital construido, social y humano de nuestra sociedad (Goodland & Daly, 1996). Existe, por tanto, un interés hoy día en la integración de las funciones de los ecosistemas, generadoras de bienes y servicios, y el análisis económico (Daly, 1997), pero la forma de abordarla es sensiblemente diferente, según se realice desde la Economía Ambiental o la Economía Ecológica.

A la hora de abordar los problemas ambientales o la conservación-explotación sostenible de los sistemas naturales, la Economía Ambiental emplea los conceptos de bien público y de externalidad, así como la técnica del análisis costo-beneficio. Para los economistas ambientales existen una serie de bienes y servicios generados por los ecosistemas (formación del suelo, regulación de gases atmosféricos, depuración, polinización, etc.) imprescindibles para la sociedad humana, que no son reconocidos dentro del mercado, por lo que no tienen valor de uso directo, y por tanto no poseen precio de mercado. Se les denomina bienes públicos, libres o recursos ambientales (Bifani, 1977), y son considerados como externalidades positivas, o más específicamente externalidades ambientales, ya que repercuten, desde fuera, en el bienestar del sistema socioeconómico, sin embargo, los ecosistemas que generan dichas funciones, no reciben nada a cambio. De esta manera se explicaría cómo la degradación de los sistemas naturales es debida a los fallos del mercado, que no le asignan valores de tipo monetario a los bienes y servicios públicos que suministran (poseen un valor de uso indirecto o de no uso), subestimándose su valor social, y por consiguiente no se justifica su conservación.

Para el análisis de la sostenibilidad ambiental del municipio de Palmira, se hizo la revisión de varios autores acerca de las metodologías disponibles, encontrándose en Álvarez S. et, al (2006), que existen toda una serie de métodos encaminados a cuantificar las demandas materiales de la economía humana sobre la naturaleza, es decir, a cuantificar el conocido como metabolismo de la economía o de la sociedad, y que están ligados principalmente, a los diversos Análisis del Flujo de Materiales, y al Análisis del Ciclo de Vida, los análisis Input-Output y toda un conjunto de indicadores y análisis relacionados. Estos análisis no pretenden constituirse en teorías del valor, sino que se encuentran más bien encaminados a desarrollar la eficiencia y a reducir los impactos de la actividad humana sobre la naturaleza. (Daniels & Moore 2002, Daniels 2002).

Estas metodologías de valoración de la sostenibilidad ambiental, se hacen en términos energéticos, considerando el valor de los bienes y servicios, vendría dado por el trabajo realizado por la naturaleza para poder “fabricar” los mismos. Es decir, un valor “per se”

en términos energéticos e independientes del mercado. Desde esta perspectiva, se estarían considerando los procesos que intervienen en la generación de bienes y servicios. La forma de expresar ese trabajo sería la energía (y los cambios en los flujos de la misma que se producen a lo largo de este tipo de procesos y sistemas). Los términos de valor son eMergía y Exergía, los cuales poseen su respectivo modelo: i) Síntesis Emergética, ii) Análisis Exergético. (Op. Cit).

La propuesta de realizar el análisis de sostenibilidad ambiental de Palmira en términos energéticos, abordó decidir el uso de la síntesis emergética o el análisis exergético, resolviendo que ambas tienen aplicación del método científico, tienen modelos bien definidos, basados en la termodinámica.

La síntesis emergética, ha sido la metodología más novedosa de la ecología, y supera la incapacidad de muchos enfoques existentes para considerar adecuadamente la contribución de los procesos ecológicos para el progreso humano y la riqueza. Una amplia gama de productos y servicios ecológicos no recibe ningún valor de los enfoques económicos convencionales a pesar de su uso y gasto para la elaboración de productos con valor económico, o incluso pueden ser esenciales para la vida. La importancia de la contabilidad para los servicios ambientales, está ganando amplia aceptación (Diario, 1997; Holliday et al, 2002; Arrow et al, 1995), aunque los métodos siguen siendo controvertidos.

En las dos últimas décadas, los economistas han desarrollado técnicas para asignar valores monetarios a los productos y servicios ecológicos. Sin embargo, este trabajo generalmente se basa en el consenso de consejo de expertos, a menudo con fundamentos físicos y biológicos tenues, y en general a escala en algunos valores de mercado derivados que puede ser, por ejemplo, muy sesgada por la publicidad. En contraste, la síntesis emergética pretende ser independiente de la valoración humana, pero en base a los principios de la termodinámica, la teoría de sistemas, la ecología de sistemas y, en definitiva contribución a la supervivencia. Entre las características más atractivas de análisis de la emergía son (Hau et al., 2003):

- Proporciona un puente que conecta los sistemas económicos y ecológicos. Dado que emergía se puede cuantificar por cualquier sistema, sus aspectos económicos y ecológicos se pueden comparar sobre una base objetiva, que es independiente de su percepción monetaria.
- Se compensa la incapacidad de dinero para las entradas de valor no de mercado de una manera objetiva. Por lo tanto, el análisis de emergía proporciona un método de valoración ecocéntrico.
- Es científicamente sólida y comparte el rigor de los métodos termodinámicos.
- Su unidad común permite a todos los recursos compararse de forma equitativa. La síntesis emergética reconoce las diferentes calidades de energía o habilidades para hacer trabajo. Por ejemplo, emergía refleja el hecho de que la electricidad es la energía de mayor calidad que la insolación solar.
- La síntesis emergética es una alternativa más holística a muchos métodos existentes para la toma de decisiones con conciencia ambiental. Los métodos más vigentes, tales como la evaluación del ciclo de vida y análisis de exergía, hacen ampliar los límites del sistema más allá del alcance de un solo proceso, de modo que los efectos indirectos de consumo de materias primas, el uso de energía y las emisiones contaminantes pueden ser tomadas en cuenta. No obstante, estos métodos se centran más en las emisiones y su impacto, haciendo caso omiso de la contribución fundamental de los ecosistemas para el bienestar

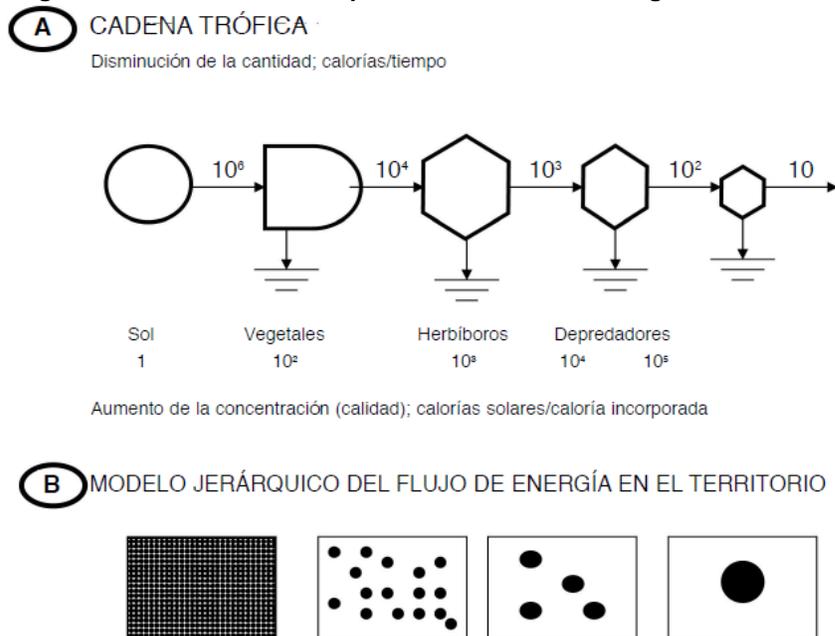
humano. El concepto de capital natural crítico y una estructura para contabilizarlo, ha sido sugerido recientemente (Ekins et al., 2003). La síntesis emergética puede contabilizar la contribución del capital natural para el sostenimiento de las actividades económicas (Bakshi, 2002).

1.11 eMergía

Además de cantidad, la energía tiene calidad, la síntesis emergética está basada en la medición de la emergía, en la Figura 1-8A, se muestra una cadena trófica simple, representada según la simbología de Odum. En ella se puede ver cómo, en el traspaso de energía desde el sol, a las comunidades vegetales, a los herbívoros y a los depredadores se va produciendo una disipación de la energía en forma de calor entre cada eslabón, de forma que la energía útil (el porcentaje de la misma) es cada vez menor. Esto explica por qué hay tan pocos grandes depredadores, ya que su mantenimiento requiere grandes cantidades de energía en forma de muchos herbívoros (Figura 1-8B). A la vez, a medida que la energía se una y dispersa en cada eslabón de la cadena alimenticia cambia de forma y se convierte en otra más concentrada o con mayor contenido de información. Es decir, a medida que la suma total de energía disminuye, su calidad aumenta (Figura 1-8B). Este hecho se refleja en el aumento en la concentración del índice calorías solares (10^6 en el ejemplo)/calorías incorporadas. Es decir, al avanzar en la cadena, cada vez se necesitan más calorías solares para tener una caloría de los componentes de cada eslabón.

Por esta razón, H. T. Odum, habla de una jerarquía energética, y propone una quinta ley de la termodinámica (entendida ésta en sentido amplio): la Jerarquía de transformación energética, que señala que los flujos de energía del universo, están organizados en una jerarquía de transformación energética, ligada al proceso de disipación de la energía o aumento de la entropía (Odum, 1996; Campbell, 2000; Tilley, 2004).

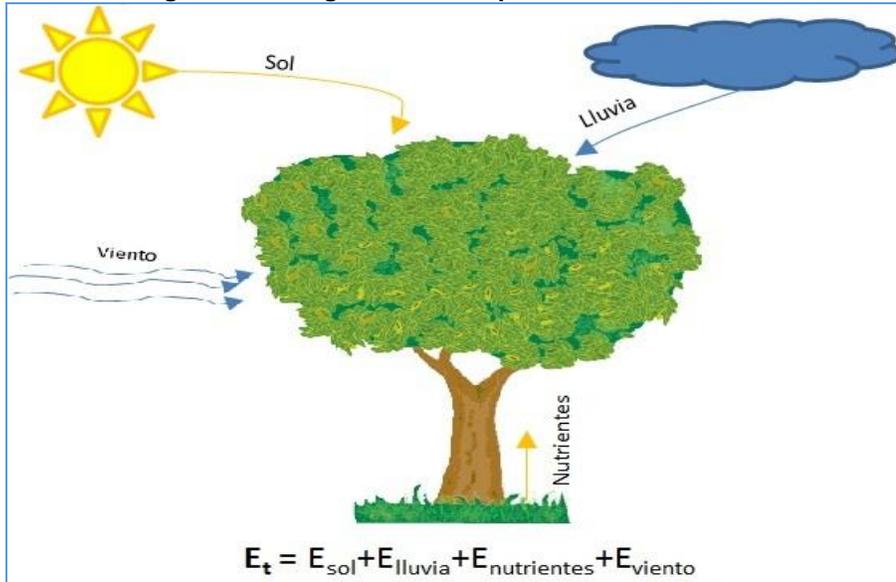
Figura 1-8. Cadena Trófica expresada mediante la ecología de sistemas



Fuente: Álvarez S. et, al. 2006, modificado de Odum (1983).

En otras palabras, la emérgia es energía invertida para producir un bien (producto) o servicio. Por ejemplo. Para un producto natural, como el árbol de la Figura 1-9, su energía es igual a la suma de las energías de los factores que contribuyeron a su crecimiento y producción, como la energía del sol, la energía de la lluvia, la energía del viento y la energía de los elementos minerales del suelo.

Figura 1-9. Energía Total de un producto natural - Árbol



Fuente: El autor (2013)

En el caso de una actividad o servicio, como estudiar, la emérgia es la suma de las energías requeridas para que esta actividad se lleve a cabo, como leer, los materiales, libros, la energía empleada en las prácticas y demás actividades de aprendizaje.

De acuerdo con esta metodología, todas las energías no pueden considerarse de igual calidad como por ejemplo, un Julio emitido por el sol requiere esfuerzo en energía concentrada y tiempo invertido en orden para producir un julio de combustible fósil. Tan diferentes cualidades de entrada de energía tiene que ser transformada en un estándar de referencia, con la cualidad de la energía solar. Así, las unidades de medición son emjulios solares, “em” refiere a la energía incorporada y solar como la referencia de cualidad energética.

Figura 1-10. Unidad de medición de la Emérgia.



Fuente: El autor (2012)

1.11.1 Transformidad (Tr)

Sin embargo, para realizar este cambio en la referencia de cualidad, se necesita conocer, cuál es la transformidad de cada tipo de energía. La transformidad expresa la Emergía necesaria por unidad de energía de un proceso dado.

Se supone que se necesitan “X” julios de radiación para producir “Y” julios de un combustible fósil. Al dividirse ambas cantidades, se obtendrá la transformidad, de modo que la cantidad de A julios de Combustible Fósil, se multiplique por su transformidad, y se obtiene la radiación solar necesaria, en este caso B, como se muestra en la ecuación:

$$\frac{X\text{Julios}_{\text{Rad.Solar}}}{Y\text{Julios}_{\text{Comb.Fosil}}} = \text{Transformidad} \quad \text{Ec. 8}$$

Entonces transformidad es medido en emjulios solares por unidad de Julio, así:

$$A\text{Julios}_{\text{Comb.Fosil}} * \text{Transformidad} = B\text{Julios}_{\text{Rad.Solar}} \quad \text{Ec. 9}$$

Coefficientes solares Transformidad, que representan la energía solar utilizada en el pasado para hacer un julio de energía disponible en la actualidad, se utilizan para convertir los flujos de energía en los valores de emergía de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$e\text{Emergía (sej)} = \text{energía disponible (j)} \times \text{Transformidad (sej/j)} \quad \text{Ec. 10}$$

En otros estudios se han realizado multitud de cálculos de transformidades para diferentes procesos, ya sea industriales o naturales, que se pueden consultar en diversas fuentes bibliográficas, especialmente en Estados Unidos, donde más aplicación ha tenido la emergía, sin embargo, ya en otros países se realizaron estos cálculos, como Brasil, Chile, Ecuador y Perú con datos más cercanos a las condiciones Colombianas. A su vez, existen muchas transformidades medias, calculadas a partir de procesos de varios sistemas distintos, y ponderadas que pueden emplearse en los sistemas propios que se estudien (Odum, 1996).

Evidentemente, existe una gran incertidumbre en el uso de transformidades previamente calculadas en otros lugares y bajo otras condiciones para el análisis de sistemas propios (Hau & Bakshi, 2003). No obstante, los autores argumentan que cuanto más se use el método, mayores transformidades se podrán ir calculando, más específicas serán y podrán ir corrigiéndose las ya conocidas. A la vez, y siempre según los autores del método, el error que se puede producir mediante el uso de estos factores (y las asunciones que comportan) no es mayor que el de otros índices (por ejemplo, macroeconómicos como el PIB o la Renta per cápita) de amplio uso (Brown & Herendeen, 1996), y que sirven para tomar decisiones de gran trascendencia. Se trata, básicamente, de introducir una nueva perspectiva en los análisis.

1.11.2 Principio de maximización de la Potencia Emergética.

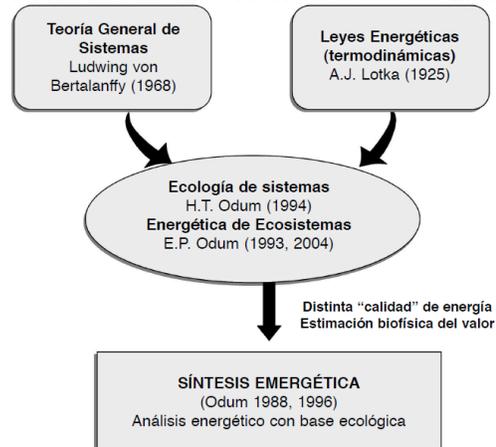
Parte del Principio de Maximización de la Potencia de A.J. Lotka (1922a; 1922b), y su intento de explicar la evolución desde un punto de vista energético. De acuerdo con este

principio, los sistemas más competitivos son aquellos que obtienen el máximo partido de la Emergía disponible mediante flujos de retroalimentación de sus procesos productivos, conversión de la mayor parte de la energía en trabajo útil y organización eficiente de sus componentes, es decir, los que maximizan la tasa de adquisición de energía disponible para el sistema (Odum, 1996; Odum & Odum, 2003; Cai et al., 2004; Hall, C.A.S, 2004).

Así, según este método, las condiciones de sostenibilidad de un sistema pasan por recibir entradas de eEmergía suficientes, maximizar los procesos de retroalimentación (lograr mayor eficiencia) y mantener un funcionamiento acorde con los sistemas termodinámicos (aquellos sistemas aislados o cerrados no prevalecen). Esto implica, por ejemplo, reciclar desechos que muchas veces tienen altos contenidos de eEmergía para retroalimentar el sistema. Se deben igualmente evitar los procesos de retroalimentación negativos que hacen decrecer el contenido emergético (valor). Un ejemplo es el aumento del CO₂ atmosférico.

Cada sistema es, a su vez, un subsistema de la biosfera con un equilibrio de máxima eficiencia generado tras miles o millones de años de ensayo mediante el método de prueba y error. El modelo de Síntesis Emergética, que recopila la teoría general de sistemas y leyes de la termodinámica, como se muestra en la Figura 1-11, proporciona diversos índices que permiten evaluar el estado del sistema y su sostenibilidad. H.T. Odum, incidiendo en las propuestas de A.J. Lotka, llegaba a proponer este principio incluso como una cuarta ley de la termodinámica (Odum, 1996; Tilley, 2004), entendida ésta, en sentido amplio.

Figura 1-11. Fundamentos Teóricos del Modo Emergético



Fuente: Álvarez S. et, al. 2006

1.11.3 Modelo de la síntesis emergética

La síntesis emergética, se plantea desde la ingeniería ecología propuesta por Howard T. Odum, como se muestra en la Figura 1-11. La idea fundamental, es que además de utilizar la naturaleza como modelo para los sistemas diseñados por los humanos, se pueden utilizar ecologías completas para realizar tareas útiles. Es posible conectar diferentes ecologías entre ellas, para manejar muchas aportaciones diferentes, autogestionar una multitud de funciones internas de ciclo cerrado y producir una variedad de productos.

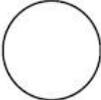
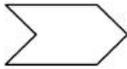
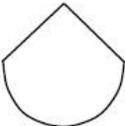
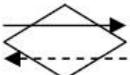
Se puede considerar un sistema de contabilidad y gestión ambiental. Es decir, va a tener la capacidad para estimar el valor de los distintos componentes del sistema (contabilidad) y, de acuerdo con el propio método, va a definir unas condiciones de sostenibilidad, proporcionando una serie de índices para evaluar la misma y tomar decisiones (gestión). Las características principales del método emergético son:

- ✓ Carácter global e integrador. Análisis a distintas escalas (Control Superior o aproximación “top-down”, es decir se realiza el análisis desde una escala más amplia (menor detalle) a una más reducida (mayor detalle).
- ✓ Se trata de un método de valoración que permite evaluar los sistemas económicos y naturales, así como las interacciones entre ambos con una metodología común.
- ✓ Maneja unidades estandarizadas (julios solares emergéticos o sej). Considera distintos tipos de calidad energética. Emplea factores de estandarización (transformidades o “transformities”) para hacer equivalentes todos los flujos de energía dentro de una jerarquía de sistemas complejos.
- ✓ Es capaz de estimar los valores de distintos componentes, tanto económicos como naturales, del sistema en unidades energéticas y ligar éstos a unidades monetarias, para hacerlo más comprensible, en un marco de referencia común (contabilidad ambiental).
- ✓ El valor (y los indicadores del mismo) no parte del individuo (de sus preferencias y/o conocimientos; aproximación desde el lado del usuario o user-side approach) sino que es intrínseco al recurso (el valor de un recurso es proporcional a la energía necesaria en su producción, denominada EMergía (Memoria Energética)); aproximación desde el lado del producto o donor-side approach). Pretende ser, por tanto, una teoría energética del valor (considerada objetiva y reproducible).
- ✓ Proporciona resultados cuantitativos sobre el estado de un sistema a través de diversos índices que permiten tomar decisiones con el objetivo de maximizar el bienestar público con las menores pérdidas ambientales posibles (gestión ambiental).
- ✓ Permite la modelización y la simulación, como poderosas herramientas de visualización de los flujos entre los sistemas socio-económicos y los ecológicos.
- ✓ Tiene un principio de optimización (Principio de maximización de la potencia emergética).

Existe una literatura especializada que describen la síntesis emergética, todas tienen su origen en Odum, H. (1996), sin embargo una buena recopilación, además de un buen análisis entre economía ambiental y ecológica, se puede encontrar en Álvarez S. et, al. (2006). Para efectos de este trabajo se presenta de manera resumida los principales pasos para realizar una síntesis emergética:

1. *Construcción de un diagrama de flujo*: El sistema ecológico real se esquematiza a partir de la información biofísica, modelando de forma explícita los flujos entrantes al sistema para desarrollar un inventario de los procesos, reservas y flujos que están dentro de los límites. Para esto se usan símbolos propios de la teoría general de sistemas, de manera que describa las interacciones, organizándolas, destacando las más relevantes y serán contabilizadas en una tabla emergética. A continuación se presenta los símbolos del lenguaje energético para los distintos componentes del sistema. Figura 1-12.

Figura 1-12. Símbolos Energéticos para diagramas de flujo

 	Flujo de recursos genéricos (El flujo de dinero es la línea punteada)		Procesos de Producción Primaria (Fotosíntesis)
	Origen y entrada de energía, o recursos en bienes y servicios al sistema		Interacción entre flujos de diferentes cualidades (Industria, Reacciones)
	Límites del sistema para entrada y salida de recursos		Almacenamiento de recursos o bienes
	Consumidores de Recursos		Transacción económica (Recursos vs Dinero)

Fuente: El Autor, tomando como referencia Ulgiati S. et. Ál (2007).

El diagrama debe estar siempre referido a un sistema superior (aproximación “menor detalle-mayor detalle”).

Tabla 1-3. Estructura de la tabla emergética

Ítem	Unidad	Cantidad Neta (1)	Transformidad (Sej/unidad) (2)	Energía (seJ/año) (3)= (1) x (2)
Recursos Renovables (R)				
Sol	J/año			
Lluvia	g/año			
Viento	\$/año			
Producción de Energía Renovable del Sistema (R1)				
Biomasa (Madera, Cultivos, etc)				
Hidroelectricidad				
Cogeneración				
Recursos No renovables del Sistema (Nn)				
Pérdida del Suelo (M. Parental, M. Orgánica, etc.)				
Minerales				
Petróleo				
Entradas al Sistema – Importaciones (F)				
Combustibles – Electricidad (F1)				
Alimentos (F2)				
Bienes y Servicios (F3)				
Mano de Obra externa (S _L)				
Salidas del Sistema – Exportaciones (Ne)				
Productos Agrícolas				
Materias Primas				
Productos Manufacturados				

Fuente: El Autor, adaptado de Álvarez S. et, al. 2006

2. *Contabilidad, la Tabla Emergética*: Esta tabla se genera a partir de los datos del diagrama de flujo, realizando los cálculos de los componentes (energía solar,

mareas, electricidad, lluvia, etc) con la respectiva cantidad de emergía, como se muestra en el ejemplo de la tabla 1-3.

Los datos de los flujos, que entran a los límites del sistema, se hallan en unidades energéticas, Julios, o, específicas gramos, generalmente anuales (J/año – g/año), estos se multiplican por su respectiva transformidad para obtener su emergía, las cuales se suman para obtener la emergía total y calcular los respectivos índices emergéticos. Uno de los puntos más conflictivos, es emplear transformidades previamente calculadas para distintos componentes y que se pueden consultar en diversas fuentes (Ulgati et al., 1994; Brown & McClanahan, 1996; Odum, 1996; Day et al., 1997; Brown & Ulgati, 2004; Brotje, 2003). Muchas de estas transformidades para distintos procesos, están calculadas para Estados Unidos, donde más utilización ha tenido el método. Pero también existen otras calculadas en otros países donde se ha aplicado el método: Tailandia (Brown & McClanahan, 1996); Taiwan (Huang, 1998); Brasil, Chile, Ecuador, Italia, Nueva Zelanda, etc. (Odum, 1996).

3. *Cálculo de Índices Emergéticos*: Los índices muestran las diversas características del sistema en estudio, permitiendo hacer comparaciones y propuestas para el sistema, para priorizar la gestión y la sostenibilidad ambiental del sistema. Los principales índices se muestran en la tabla 1-4.

Tabla 1-4. Principales índices de estado que se emplean en la síntesis emergética.

Índice o Indicador	Formula		Unidades	Descripción
Emergía Total U	$U = R + N + F$	Ec. 11	SeJ	
Índice de producción de Emergía – (EYR)	$EYR = U/(F1+F2+F3+SL_N)$	Ec. 12		Mide la contribución potencial de un proceso al conjunto del sistema debida a la explotación de recursos locales.
Índice de carga ambiental –(ELR)	$ELR = (N+F1+F2+F3+SL_N)/(R+SL_R)$	Ec. 13		Índice de estrés ambiental, debido a una producción, indicador de la presión de un proceso de transformación sobre el medio ambiente.
Índice de Emergía Renovable capturada	R/F	Ec. 14		Índice de efectividad del sistema socioeconómico en la captación de los flujos naturales.
Consumo de Emergía por persona	U/Población	Ec. 15	seJ/persona/año	Medida del nivel de vida potencial medio de una población
Potencial de Densidad territorial	U/superficie del país	Ec. 16	SeJ/m ² /año	Índice de presión de un proceso sobre un territorio.
Capacidad de carga renovable	(R/U) x Población	Ec. 17	Población	Estima población que podría mantenerse dependiendo sólo de los recursos renovables
Índice monetario Emergético	U/PIB	Ec. 18	SeJ/\$	Relaciona emergía con unidades monetarias. Análisis de relaciones comerciales.
Índice de sostenibilidad – (ESI)	EYR/ELR	Ec. 19		Medida de la contribución del sistema jerárquicamente superior a la producción del sistema por unidad de carga del mismo.

Fuente: El autor, Adaptado de Álvarez S. et, al. 2006

2. Capítulo 2. Marco contextual

2.1 Sistemas ecológicos urbanos y sostenibilidad

Las poblaciones a nivel mundial están tomando una tendencia cada vez más urbana, según la ONU (2011), la población urbana mundial alcanzará los 6 mil 300 millones de habitantes, lo que indica que la mayoría de la humanidad habita en las ciudades, situación ya diagnosticada por los entes internacionales como la ONU, el Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial y ONG's internacionales que reafirman la situación de las megaciudades y la sociedad, en la cultura del consumo que se procesan en la globalización, que bien puede ser definida como "Glocalización" (Robertson, R. 2003).

La concentración de la población se encuentra en ciudades tan diversas como ciudad de México, Sao Pablo, Cairo, Bombay y Seúl. Sin embargo, la mayoría de ciudades del planeta son pequeñas o medianas en tamaño, de hecho hay más de 3.500 ciudades intermedias en todo el mundo con poblaciones entre 100 mil y 2 millones de habitantes. Más del 80% de estas ciudades se encuentran en países en vías de desarrollo. Aproximadamente dos 2 millones de personas trabajan, duermen y juegan en estas ciudades intermedias. Eso es casi una de cada tres personas en el planeta, (Moreno, 2011).

El enfoque no está en la dimensión de la ciudad, sino en su crecimiento, ya que varias de estas ciudades intermedias tienen un crecimiento más rápido que otras, tanto en población como en producción económica.

2.1.1 Contexto Latinoamericano y Nacional de Sistemas Ecológicos Urbanos

En América Latina y el Caribe, por ejemplo, hay cerca de 500 ciudades intermedias. Pero sólo 143 de ellas están creciendo rápidamente. Estas son lo que llamamos las "ciudades emergentes." Están creciendo porque ofrecen puestos de trabajo y oportunidades económicas. Muchas se encuentran cerca de centros de producción agrícola, minera o industrial. Tienen intercambios comerciales con Asia, Europa y Norteamérica. Otros se están convirtiendo en destinos turísticos populares o ejes vitales para diversos servicios.

Aunque algunas de estas ciudades están aisladas geográficamente, todas miran hacia el exterior y están sumamente conectadas. (Op. Cit).³

Para Global Footprint Network 2009, el estándar global para un país en condiciones de desarrollo humano sostenible es de 1,8 hectáreas globales per cápita (gha/cápita) como indicador de huella ecológica. Según datos de las Cuentas Nacionales de la Huella Ecológica, Colombia es el 26° país más grande en el mundo por área, pero el 14° más grande en capacidad biológica. La Huella Ecológica en Colombia, 1,9 (gha/capita), es comparable a otros países de la Comunidad Andina de Naciones, tales como Bolivia (2,4 gha/cápita), Ecuador (1,9 gha/cápita), y Perú (1,8 gha/cápita). Esto indica la prioridad que debe darse al establecimiento y aplicación de medidas encaminadas a prevenir el aumento de dicha huella, y de esta manera, no poner en riesgo la biocapacidad de proveer los servicios ecosistémicos que requiere la sociedad y la economía del país.

Para la ONU, los desastres naturales tienen un impacto desproporcionado en los países pobres y en desarrollo. En Colombia, cerca de 780.000 hogares, es decir alrededor del 39% del total, viven en condiciones de precariedad, y por tanto, se encuentran especialmente amenazados ante la ocurrencia de desastres de origen natural causados por el cambio climático. (MAVDT, 2009).

Los procesos acelerados de crecimiento económico en escenarios cambiantes de riesgo, de degradación del ambiente y cambio climático global, requieren una gestión ambiental y del riesgo de desastres integrada como estrategia fundamental para garantizar la sostenibilidad y seguridad de las comunidades. Si bien en los últimos treinta años han sido notables los avances de la gestión ambiental, existe incertidumbre sobre la evolución de la capacidad institucional ambiental para acometer el reto que plantea este crecimiento (Op. Cit).

De acuerdo con el Plan Decenal Ambiental (MAVDT, 2009), el desarrollo sostenible requiere de la integración y armonización de las políticas y objetivos ambientales y sectoriales. Sin embargo, en Colombia esa integración y armonización es escasa y débil, constituyéndose en uno de los principales limitantes de la gestión ambiental. Por una parte, frecuentemente las entidades del SINA – Sistema Nacional Ambiental, no logran aportar argumentos de tipo económico, financiero y social a favor de las propuestas de política ambiental. Normalmente sus argumentos sólo se abren paso cuando se esgrimen los instrumentos de control policivo y sancionatorio. En esas condiciones, la inclusión de consideraciones ambientales en las políticas sectoriales sólo ocurre cuando los costos de no hacerlo son altos y no cuando sus beneficios son claros. Esto encamina a vacíos y

³ Según Moreno (2011): “En América Latina y el Caribe, casi todas ya pasaron el 100% de penetración móvil. Más del 40% de su población tiene acceso a Internet. En promedio, la población de estas ciudades emergentes está creciendo dos o tres veces más rápida que las megaciudades. De hecho, el crecimiento de las ciudades gigantes como Río de Janeiro y Buenos Aires, esencialmente se detendrá en la próxima década. Esto significa que la mayor parte del crecimiento urbano en los próximos 20 años ocurrirá en ciudades emergentes. Para absorber ese crecimiento, los gobiernos de estas ciudades tendrán que invertir miles de millones de dólares en nueva infraestructura, viviendas y edificios públicos. También tendrán que encontrar nuevas fuentes de agua, electricidad y combustible.”

contradicciones en las normas y en la reglamentación; debilidad en la planificación ambiental, la capacidad técnica de las instituciones y la gestión ambiental urbana y sectorial y; falta de articulación de la planificación territorial con las variables ambientales, generando un impacto negativo en la vida y bienes de las poblaciones.

Además, los distintos sectores, ocupados en el logro de sus propios objetivos, frecuentemente no cuentan con la capacidad y la visión estratégica para armonizar dichos objetivos con los de la política ambiental. Su desempeño se mide por la eficiencia de sus políticas y no por su sostenibilidad.

Según estimaciones del Banco Mundial (Larsen, 2004), los costos para la economía colombiana asociados con la contaminación atmosférica urbana e intradomiciliaria; los servicios deficientes de abastecimiento de agua, saneamiento e higiene; los desastres y la degradación de los suelos, ascienden al 3,7% del PIB, los cuales recaen con mayor peso sobre los segmentos vulnerables de la población, especialmente en niños menores de 5 años, lo cual se refleja principalmente en el aumento de la mortalidad y la morbilidad, al mismo tiempo que la disminución de la productividad. Así mismo, las sustancias químicas empleadas en los procesos de producción generan problemas de contaminación del agua, aire y alimentos, con riesgos significativos para la salud pública, productividad y destrucción de ecosistemas (PNUMA, 2008).

Los niveles de articulación y coordinación de las autoridades ambientales para una gestión efectiva y sistémica resultan insuficientes ante las debilidades generadas por la estructura contemplada en la Ley 99 de 1993. Esto es, la jurisdicción de las autoridades ambientales regionales no respondió a criterios de manejo ambiental, sino que en la mayoría de los casos correspondió a criterios político administrativos, fraccionando ostensiblemente la planificación y la toma de las decisiones. (MAVDT, 2009).

Desde 1997, a partir de la Ley 388, la organización de los municipios requiere planes de Ordenamiento Territorial, en tres categorías de complejidad por número de habitantes, como POT, Plan básico y Esquema (PBOT - EOT). Además en 2008, se creó la Política de Gestión Ambiental Urbana para dar respuesta a la realidad ambiental urbana actual y que oriente el accionar de los actores institucionales y sociales, que tiene que ver con la gestión ambiental en el territorio urbano.⁴

El desafío ambiental principal será la identificación y la caracterización de los servicios ecosistémicos principalmente en los municipios y la definición de su estructura ecológica principal, para su incorporación en planes e instrumentos de planificación sectorial y territorial.

⁴ “Los planes de Ordenamiento territorial (POT) han fallado, porque ni los gobernantes, ni las oficinas de planeación departamental, han entendido que una de sus funciones, es articular esos POT's locales, para no tener una serie de decisiones desintegradas del nivel regional y nacional. Pero aunque muchas cosas no han funcionado, se logró una revolución silenciosa. No hay ciudad donde no se haya hablado del tema y de donde la gente no haya participado, pues, este es un principio que inspira su formulación, como es también la autonomía de los municipios. No obstante, se presentaron casos en que se trabajó un poco a espaldas de la comunidad por falta de una veeduría de los ciudadanos y terminaron incrustándose intereses particulares Caicedo (2003).”

2.2 Ciudades emergentes y sostenibles

Para hacerle frente al caso latinoamericano con respecto al urbanismo, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y para Colombia en convenio con la Financiera de Desarrollo Territorial (FINDETER), se viene trabajando en una plataforma de “Ciudades Emergentes y Sostenibles”, ya que más del 80% de estas ciudades se encuentran en países en vías de desarrollo. Tiene como objetivo trabajar tres áreas críticas:

- *Sostenibilidad ambiental y cambio climático;*
- *Desarrollo urbano*
- *Sostenibilidad fiscal y gobernabilidad.*

El Banco apoya a ciudades de Latino América y el Caribe en la evaluación de sus situaciones individuales en cada una de estas áreas en comparación con otras ciudades de similar tamaño, y a identificar problemas críticos y cursos de acción para preparar la región para un futuro sostenible. La plataforma se enfoca primordialmente en ciudades de tamaño medio que están mejor posicionadas para planear eficientemente un crecimiento ordenado y adaptarse a los desafíos urbanos venideros.

Tabla 2-1. Sostenibilidad Urbana

SOSTENIBILIDAD URBANA					
		Controla su crecimiento y mejora el hábitat humano	Promueve transporte sostenible urbano	Promueve competitividad y desarrollo local sostenible	Promueve un ambiente seguro para sus ciudadanos
¿Qué entendemos por una ciudad urbanamente sostenible?	Es una ciudad que:	Planifica su crecimiento minimizando sus huellas ecológicas y su impacto en el medio ambiente	Desarrolla alternativas de movilización que minimizan los impactos ambientales, favoreciendo el transporte público por sobre el privado.	Tiene un base económica competitiva diversificada, productivo sostenible para la economía local.	Tiene una tasa baja de crímenes y es percibida como segura por sus ciudadanos.
		<ul style="list-style-type: none"> • Huellas Urbanas 	<ul style="list-style-type: none"> • % de viajes en transporte público 	<ul style="list-style-type: none"> • % PIB percapita. • Índice de diversificación 	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa anual de homicidios. • Índice de Paz
		Promueve patrones de uso del suelo que conduzcan a una ciudad compacta. Establece enlaces directos entre las actividades reduciendo el uso de transporte motorizado.	Proporciona una adecuada movilidad dentro de la ciudad, el transporte y la prioridad alternativas no motorizadas	Promueve eficiencia ecológica en las prácticas de producción y en la gestión de desechos industriales.	Promueve seguridad pública dentro de un marco integral (toca factores de riesgo que generan violencia, enfatiza procesos de prevención e inclusión social a través de la participación de la comunidad.
		<ul style="list-style-type: none"> • Densidad neta 	<ul style="list-style-type: none"> • Prom. de tiempo de viaje en horas pico 	<ul style="list-style-type: none"> • % de empresas adoptando prácticas eficientes de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Percepción pública de la seguridad ciudadana.
		Bajos niveles de desigualdad urbana (infraestructura y vivienda; previene la formación de asentamientos informales)	Implementa políticas de gestión según demanda (integración de los modos de transporte, restricciones a la circulación, tarifa de congestión, etc).	Apoya negocios locales e integración de los sectores informales; promueve innovación tecnológica.	
		<ul style="list-style-type: none"> • % de la población en vivienda informal. • % de la población sin servicios básicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Prom. de tiempo de viaje hacia área central. 	<ul style="list-style-type: none"> • % del sector informal. 	

Fuente: Autor Adaptado de Plataforma de Ciudades Sostenibles BID 2011.

La gestión de las ciudades sostenibles emergentes, se focaliza en el manejo, la gestión ambiental y el cambio climático, incluyendo programas para reducir la contaminación del aire y el agua, el control de residuos sólidos, promover la eficiencia energética, mejorar la prevención de desastres e implementación de medidas para la adaptación a los efectos del cambio climático, como lo muestra la tabla 2-1.

2.3 Municipio de Palmira como zona de estudio

Según el BID, Para Colombia se han considerado como ciudades emergentes las siguientes: Barranquilla, Bello, Bucaramanga, Buenaventura, Cartagena, Ibagué, Manizales, Montería, Neiva, Pasto, Pereira, Santa Marta, Soledad, Valledupar, Villavicencio.

El proceso de selección de las ciudades, se realiza teniendo en cuenta tres criterios: (i) tener un tamaño poblacional entre 100 mil y 2 millones y medio de habitantes, (ii) presentar signos de dinamismo social y económico en el marco de instituciones sólidas o en proceso de fortalecimiento y (iii) voluntad política de la administración municipal.

El municipio de Palmira se encuentra localizado en la región sur del Departamento del Valle del Cauca. Su cabecera está situada a 3°31'48" de latitud Norte y 76°81'13" de Longitud al Oeste de Greenwich. El área Municipal es de 1,162 km² de los cuales, 22.89 km² corresponden a la zona urbana. POT (2001).

El área municipal de Palmira, distingue claramente 3 zonas topográficas diferentes: Su temperatura media es de 23 grados centígrados, con una precipitación promedio anual de 2000 mm y su altura sobre el nivel del mar es de 1,001 metros. Sus límites políticos y geográficos son: NORTE: Con el Municipio de El Cerrito, ESTE: Con el Departamento del Tolima, SUR: Con los Municipios de Pradera y Candelaria, OESTE: Con los Municipios de Cali, Yumbo y Vijes. (Op. Cit). Ver figura 2-1.

Figura 2-1. Límites Municipio de Palmira Departamento del Valle del Cauca



Fuente: IDEA. UNAL Sede Palmira (2008)

Según DANE 2005, la población del Municipio de Palmira para el año 2.012 está estimada en 298.667 Habitantes de los cuales el 80.2% está ubicada en la cabecera municipal y su estructura poblacional se caracteriza por tener un 26.14% de niños en edad hasta 14 años, el 17.67% de jóvenes en edad comprendida entre los 15 a 24 años, el 55.23% de

adultos con edad comprendida entre los 25 a 64 años –y el 7.96% son mayores de 65 años.

Tabla 2-2. Necesidades básicas Insatisfechas municipio de Palmira 2011

Personas en NBI CABECERA	Personas en NBI RESTO	Personas en NBI TOTAL
10,05	23,64	12,76

Fuente: DANE 2005

Como lo muestra la tabla 2-2, el índice de necesidades básicas insatisfechas es del 12,76% de acuerdo los datos del censo general 2.005, elaborado por el Departamento Nacional de Estadística DANE. Cuenta con un porcentaje importante de población afrocolombiana correspondiente al 14,5 % de la población.

2.3.1 Educación

El Municipio de Palmira se encuentra certificado en materia educativa a través de la resolución Número 2747 del 3 de Diciembre de 2002, emanada por el Ministerio de Educación Nacional, permitiéndole asumir en consecuencia la prestación del servicio educativo el cual dispone actualmente de 117 sedes educativas.

En las bases de datos del Ministerio de Educación se registra una cobertura neta del Municipio de Palmira con los siguientes porcentajes: en transición el 76,21%, primaria 96,15%, en secundaria y media 80,41% y 47,11% respectivamente.

Según la secretaria de educación de Palmira, la tasa de analfabetismo para el municipio en los últimos periodos presenta un promedio del 5,1%, por debajo del promedio Nacional del 6,6% La tasa de deserción en el Municipio de Palmira es del 5,5%, los esfuerzos para lograr la ampliación en la cobertura se deben acompañar con acciones para fortalecer la permanencia de los estudiantes en el sistema educativo y disminuir la deserción.

En educación superior el Municipio de Palmira cuenta con más de diez mil estudiantes en programas de tecnologías, pregrados y posgrados cubiertos en ocho establecimientos educativos de educación superior, de los cuales el 39% de los estudiantes son de estrato 1 y 2.

2.3.2 Salud

Según la secretaría de protección en salud 2011, el municipio de Palmira cuenta con una red pública de servicios en salud de baja y mediana complejidad, conformada por dos Empresas Sociales del Estado: Hospital Raúl Orejuela Bueno y Hospital San Vicente de Paúl, además dispone de una red privada que atiende a los afiliados del POS-C (régimen contributivo), la cual está integrada por las instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS), de servicios médicos, servicios de odontología, rehabilitación física y de laboratorio.

La red de instituciones privadas de salud, presta servicios de baja, media y medio alto nivel de complejidad. Igualmente hace parte del equipamiento en salud, la Clínica Palma Real, que proporciona servicios de imageneología de tercer nivel, unidad de cuidados intensivos de adultos y unidad de cuidados intensivos neonatos.

2.3.3 Cuencas Hidrográficas

El municipio cuenta con áreas estratégicas de alto interés ambiental y económico para la conservación de la biodiversidad y garantizar la regulación hídrica con tres fuentes hídricas de gran importancia, ríos Amaime y Nima pertenecientes a la cuenca del Río Amaime y Aguaclara perteneciente a la Cuenca del Río Bolo. La microcuenca del río Nima abastece de agua para consumo humano a los habitantes de la cabecera municipal y los acueductos rurales aportan agua para riego y consumo, según la secretaria de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2011.

En la tabla 2-3, se relacionan los principales indicadores que permiten determinar la situación del sector de ambiente estableciendo como línea de base el año 2.011:

Tabla 2-3. Indicadores Sector Medio Ambiental Cuencas Hidrográficas

INDICADOR	LÍNEA BASE 2011	FUENTE DE INFORMACIÓN
	Valor Absoluto	
Número de hectáreas restauradas o rehabilitadas con fines de protección.	546	Secretaría de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Número de hectáreas incorporadas al Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia SINA.	539	Secretaría de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Número de hectáreas de bosques reforestadas.	2000	Secretaría de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Hectáreas de ecosistemas para la regulación hídrica conservadas.	23856	CVC DAR Suroriente y SAVDT

Fuente: Secretaria de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2011.

2.3.4 Gestión del riesgo

El escenario del desarrollo actual, tiene consigo un reto extraordinario de cómo afrontar las serias implicaciones de adaptación a los afectos del cambio climático. Recientemente Colombia fue afectada por las consecuencias del Fenómeno de la Niña, el cual desencadenó a finales del año dos mil y comienzos del dos mil once, emergencias de inundación para las cuales el país no estaba suficientemente preparado.

2.3.5 Agua Potable

El Municipio de Palmira cuenta con 50 Acueductos Rurales, de los cuales 22 se encuentran ubicados en la zona alta (1.200 a 4.000 msnm) y 18 en la zona plana (950 a 1.100 msnm), dando cobertura a una población de aproximadamente 56.400 habitantes como lo muestran las tablas 2-4 y 2-5.

Tabla 2-4. Indicadores sector Ambiente, Agua Potable

INDICADOR	LINEA BASE 2011		FUENTE DE INFORMACIÓN
	Valor Absoluto		
Personas atendidas con el servicio de acueducto a 31 de diciembre de 2011 de la población total del municipio de Palmira.	250.442		Empresa ACUAVIVA S.A E.S.P
Personas atendidas con el servicio de alcantarillado a 31 de diciembre de 2011 de la población total del municipio de Palmira.	247.778		Empresa ACUAVIVA S.A E.S.P
Cumplir con el índice de riesgo calidad de agua (Decreto 1575 de 2007)	13 acueducto		Secretaría de Protección en Salud

Fuente: Secretaria de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2011.

Tabla 2-5. Prestación del Servicio de Acueducto

INDICADOR	LINEA BASE 2011		FUENTE DE INFORMACIÓN
	Valor Absoluto	%	
Promedio de horas de prestación del servicio diario en el sector urbano, Cgto Barrancas y Vereda Guayabal (Acuaviva S.A. E.S.P) Cgto La Dolores, Cgto Caucaseco, Cgto Juanchito y Ciudad del Campo, (Emcali).	24	100	Secretaria de Protección en Salud
Promedio de horas de prestación del servicio diario en la zona rural, acueductos rurales	18	75	Secretaria de Protección en Salud

Fuente: Secretaria de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2011.

2.3.6 Vivienda

Los principales indicadores que permiten determinar la situación del sector de vivienda estableciendo como línea de base el año 2.011 se observan en la tabla 2-6.

Tabla 2-6. Indicadores Sector Vivienda

INDICADOR	LINEA BASE 2011		FUENTE DE INFORMACIÓN
	Valor Absoluto		
Número de viviendas VIS iniciadas	7849		SAVDT
Número de viviendas iniciadas VIS con apoyo de la entidad territorial	211		SAVD
Número de proyectos formulados y ejecutados para VIS	54		SAVD
Número de unidades de vivienda VIS iniciadas en suelo habilitado	7849		SAVD
Número de hogares con déficit cualitativo	3641		SAVD

Fuente: Secretaria de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2011.

El déficit habitacional del municipio de Palmira, supera las 11.000 unidades de vivienda y es importante considerar además los procesos de reasentamiento de población ubicada en zonas de riesgo alto no mitigable.

2.3.7 Agropecuario

El sector Agrícola y pecuario de Palmira, entra en una etapa de expectativas ante la puesta en marcha del Tratado de Libre Comercio TLC con Estados Unidos y éste nuevo escenario ejercerá una nueva dinámica de solución a los problemas que de antaño se venían presentando y a los retos que exigen un desarrollo económico acorde con las necesidades futuras.

Los principales indicadores que permiten determinar la situación en que se encuentra el sector agropecuario estableciendo como línea de base el año 2.011 se describen en la tabla 2-7.

Tabla 2-7. Indicadores Sector Agropecuario en Palmira

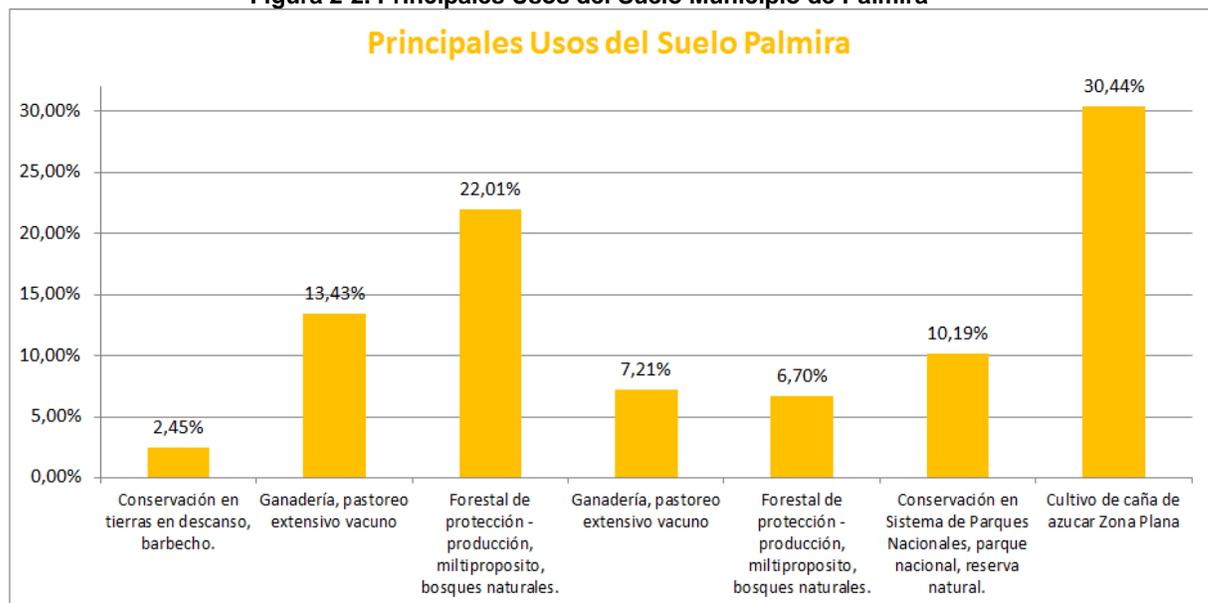
INDICADOR	LINEA BASE 2011		FUENTE DE INFORMACIÓN
	Valor Absoluto	%	
Superficie agrícola sembrada (Ha)	36.115	35,97	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico/ASOCAÑA
Superficie agrícola sembrada de cultivos transitorios (Ha).	4756	1,31	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico/ Agenda de competitividad del municipio de Palmira.
Superficie agrícola sembrada de cultivos permanentes (Ha)	35640	98,69	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico/ Agenda de competitividad del municipio de Palmira.
Toneladas de producción agropecuaria	3'922.449		Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico/ URPA

Fuente: Secretaria de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2011.

2.3.8 Uso del Suelo

En la gráfica 13, se priorizan los usos del suelo del municipio de Palmira, dominado por el cultivo de la caña de azúcar con un 30,44%, seguido del forestal de protección – producción multipropósito, bosques naturales con un 28,71%, Ganadería extensiva 20,64%, teniendo un 2,45% de barbecho o tierras de descanso. Para ver el resto de usos del suelo ver Anexo F.

Figura 2-2. Principales Usos del Suelo Municipio de Palmira



Fuente: El Autor con base en IGAC et, al 2004, Tabla 38 - Mapa Uso de las Tierras Hojas 280 y 300; Anuario Estadístico de Palmira 2012.

2.3.9 Promoción y Desarrollo Económico

El municipio de Palmira es pionero en la producción de biocombustibles y actualmente en su territorio se producen 250 mil litros/día de bioetanol, opera una red de plantas de destilación de dicho combustible ecológico (también conocido como alcohol anhidro) conformada por el ingenio Manuelita.

En su territorio cuenta con el aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, dos zonas francas, y una red vial de alto flujo que atraviesa todo el departamento. Está ubicada a 2 horas y 30 minutos del puerto de Buenaventura, el principal sobre el Pacífico en Latinoamérica y se considera el segundo municipio en cantidad de población y el tercero en extensión en el departamento.

Una ciudad con un alto desarrollo y una tradición agropecuaria, denominada la Capital Agroindustrial de Colombia, con centros científicos internacionales como CORPOICA, ICA, Universidad Nacional de Colombia, Fundación Ecoparque Llanogrande y Centro de Investigaciones de Agricultura Tropical (CIAT).

Palmira conserva su carácter de centro agrícola porque se encuentra privilegiada por sus suelos fértiles y abundancia de agua, que permiten desarrollar la agricultura a gran escala. A partir de la fundación del Ingenio Manuelita, se inició un sólido desarrollo agroindustrial en la región, que lleva a que hoy el 93,01% de sus tierras estén sembradas con caña de azúcar.

En el 2007 la Universidad del Valle elaboró la agenda de competitividad del municipio con las siguientes apuestas productivas.

- Desarrollo de insumos, productos y servicios para la higiene y el cuidado personal, la belleza (cosméticos), la nutrición (suplementos), la salud (farmacéuticos y fitoterapéuticos), la estética (terapias, tratamientos e implementos), la rehabilitación física (prótesis y tejidos) y el aseo del hogar (detergentes, desinfectantes, aromatizantes, etc.) con alto componente de materias primas de origen natural, provenientes de la biodiversidad del sector agropecuario, pesquero y forestal con la aplicación de Biotecnología y tecnologías más limpias.
- Producción de alimentos frescos y procesados con propiedades funcionales a base y/o con derivados de frutas, hortalizas, plantas aromáticas, medicinales y condimentarias y recursos pesqueros principalmente.
- Proveeduría de material genético, biofertilizantes, biofungicidas, servicios tecnológicos (mejoramiento de variedades, estudios de suelos, control de enfermedades, mejoramiento de procesos productivos) maquinaria, equipo, sistemas de riego y bombeo, para el sector agroindustrial (especialmente en frutas, y plantas aromáticas, medicinales y condimentarias) y en los sectores pesquero y forestal.
- Biocombustibles de diferentes fuentes con énfasis en biomasa de caña, Fortalecimiento de la investigación para mitigar el impacto de los desechos agroindustriales como la Vinaza, apoyo a un sistema de laboratorios

acreditados en el sector de biocombustibles, transferencia tecnológica y propiedad intelectual.

- Tecnologías y Servicios de Salud incluyendo medicina reconstructiva y de rehabilitación y Estética con todos sus sectores conexos como servicios de renovación de imagen (moda y accesorios), elaboración de prendas íntimas, fajas, implementos, y sustancias para realizar tratamientos pre y post quirúrgicos, servicios de acondicionamiento físico y rehabilitación incluidas prótesis, reparación y fabricación de equipos para tratamientos estéticos y de Turismo en todas sus modalidades (convenciones, negocios, compras, eco y agro turismo, salud y/o estética, de deportes extremos y de aventura, religioso y cultural).
- Telecomunicaciones, informática, software, electrónica con énfasis en el desarrollo de sistemas de información para los sectores anteriormente priorizados y para la prestación de servicios tercerizados de información y procesamiento a larga distancia BPO con énfasis en Ventas y Mercadeo, Gestión de Recursos Humanos, Finanzas, contabilidad especialmente para los sectores priorizados.
- Servicios Ambientales para una producción más limpia con énfasis en los diversos sectores productivos priorizados, en el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y en la gestión integral de residuos sólidos.

Es importante visualizar cual es el perfil que tiene el Municipio de Palmira, en relación con la concentración de mano de obra, caracterizándose por ubicar en las grandes empresas el 40.5% de los empleados, el 10.8% en las medianas, el 17,9% en las pequeñas y el 30,8% se sitúan en las microempresas (tabla 2-8).

Tabla 2-8. Empleo y Empresas de Palmira

TAMAÑO	VARIABLES	SECTORES			TOTAL
		PRIMARIO	SECUNDARIO	TERCIARIO	
MICRO	NUMERO DE EMPRESAS	170	629	4622	5421
	NUMERO DE TRABAJADORES	470	1236	6414	8120
PEQUEÑA	NUMERO DE EMPRESAS	42	74	184	300
	NUMERO DE TRABAJADORES	436	1173	3101	4710
MEDIANA	NUMERO DE EMPRESAS	14	19	45	78
	NUMERO DE TRABAJADORES	236	1179	1432	2847
GRANDE	NUMERO DE EMPRESAS	234	18	15	267
	NUMERO DE TRABAJADORES	1538	8392	712	10642

Fuente: Universidad del Valle – Agenda de Competitividad para Palmira, 2.010

Palmira, tiene una población económicamente activa de 140.000 personas, de la cual 18000 personas se encuentran desempleadas; y 51.000 personas empleadas se consideran subempleadas. Las principales actividades económicas están en el mayor

número de empresas del sector de comercio y servicios, seguida de industria, hoteles y restaurantes, como puede verse en la figura 2-3.

Figura 2-3. Número de Empresas por Actividad Económica



Fuente: Registro Mercantil - Cámara de Comercio de Palmira – A Diciembre 31 de 2011.

Es importante señalar que Palmira no cuenta con información suficiente relacionada con el tema del mercado laboral, entre otras razones porque no se ha realizado la encuesta de hogares, lo que coloca a la ciudad en una situación de desventaja; en la medida que se encuentra con una información muy general asociada al área metropolitana (Cali – Palmira - Yumbo) que no permite una precisión de los datos específicos.

El sector azucarero genera empleo por el corte de caña a más de 12.000 familias en el Valle del Cauca, sin embargo esta actividad está siendo transformada y actualmente se está viviendo un proceso de mecanización del corte, pasando gradualmente a un corte mecánico, lo que implica que en los próximos años el tema del desempleo en Palmira se va agudizar.

Otro aspecto importante en la economía de Palmira es su ubicación geográfica, pues está a media hora de Cali y en medio de ciudades pequeñas (Candelaria, Florida, Pradera, Buga y Guacarí), con las que se conecta mediante excelentes vías de comunicación. Ello facilita la movilidad permanente de un alto porcentaje de población proveniente de estas ciudades hacia Palmira, que, generalmente, trabaja en los ingenios azucareros.

Además el auge de los actuales convenios y tratados internacionales como la Alianza del Pacífico convierte a la ciudad de Cali en blanco de la inversión como lo menciona el artículo *¿Por qué Cali es el nuevo blanco de la inversión extranjera en el Pacífico colombiano?* (PRENSA), Esteban Piedrahita, asesor de la alcaldía de Cali, considera que ese ranquin de las 10 principales ciudades de América con futuro inversionista, donde apareció Cali y Barranquilla, es un indicador de que el mundo “nos mira como puntos

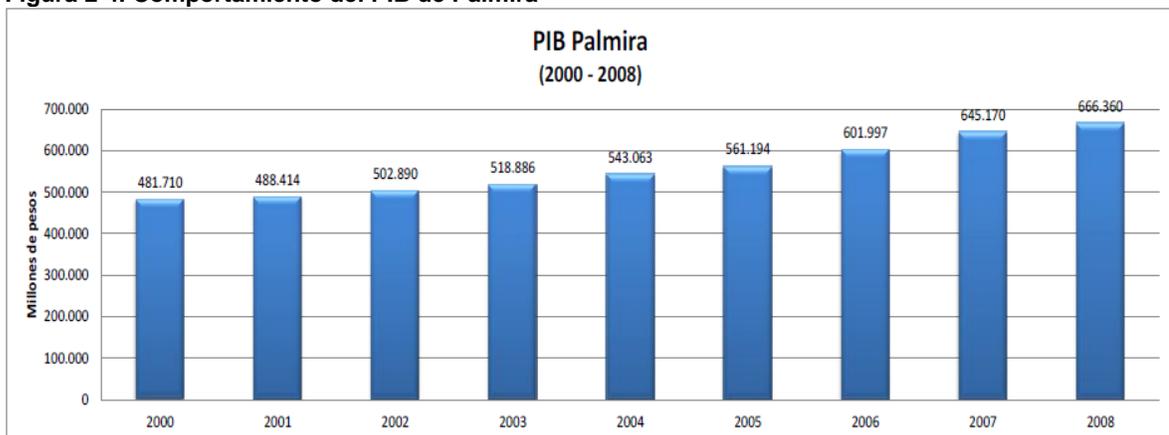
estratégicos, eso nos muestra también que el modelo de desarrollo económico cambió, ya no es hacia dentro, sino que hay que mirar hacia afuera”, dijo.

Con lo anterior, es necesario resaltar que la cercanía con la ciudad de Cali, que carece de suelo industrial y suelo para vivienda por restricciones del POT, convierte a Palmira en un foco natural de desarrollo y crecimiento urbanístico. Se observa cómo grandes proyectos de construcción de vivienda o centros comerciales que no se desarrollaron en Cali, lo están haciendo en Palmira. Esto, unido a atractivos tributarios de la ciudad, ha generado un crecimiento rápido de la economía de Palmira, que contrasta con los altos índices de inseguridad que la colocan en el país como una de las ciudades menos seguras.

2.3.10 PIB – Producto Interno Bruto Municipal

El PIB, para el año 2008, en Palmira se calculó en un valor cercano a los 666.000 millones, que viene a representar aproximadamente el 1,6% del PIB del Valle del Cauca, cifra porcentual que durante la década ha tenido muy poca variación, para el año 2000 el PIB se ha calculado en 482.000 millones de pesos. Véase figura 2-4.

Figura 2-4. Comportamiento del PIB de Palmira



Fuente: Cálculos de Banguero Asociados Consultores con base en información de cuentas departamentales del DANE e información presupuestal del DNP compilada por Informe Nacional de Desarrollo Humano 2011 - PNUD.

La estructura productiva del municipio de Palmira está compuesta por actividades económicas muy similares a las observadas en el Valle del Cauca, esto es, para el 2009 el 5% del PIB que corresponde al sector primario, el 22% al sector secundario y el 64% al sector terciario. En la distribución por ramas de actividad económica, se destacan en su orden de importancia los siguientes sectores: establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias, y servicios a las empresas (25,8%), industria manufacturera (17,2%), actividades de servicios sociales, comunales y personales con un 14,1% y comercio, reparación, restaurantes y hoteles (11%).

Para resumir, se pueden usar los datos a aquí descritos, para esquematizar la dinámica económica y ambiental del municipio de Palmira, con toda una organización sistémica, que lo defina como un Tecnoecosistema, de manera que se pueda aplicar el método de la síntesis emergética, excepto, los datos de Educación y Vivienda que no pueden integrarse a este método, como parte del componente social, sin embargo, sirven para complementar las decisiones políticas según el análisis de los indicadores emergéticos.

3. Capítulo 3. Metodología

Con la revisión bibliográfica hecha teniendo como base el método de la síntesis emergética, donde recopilamos una serie de autores en evaluación de sostenibilidad ambiental, se estableció la siguiente metodología compuesta de cinco (5) fases, las cuales, se interrelacionan con los objetivos planteados como se presenta en la tabla 3-1.

Tabla 3-1. Fases para cumplimiento de Objetivos.

FASE	OBJETIVO
FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA SECUNDARIA	Caracterizar y tipificar de los sistemas productivos del uso de suelo del Municipio de Palmira.
FASE II: DEFINICIÓN DEL TECNOECOSISTEMA	Cuantificar los balances de materia y energía en el municipio Palmira
FASE III: CALCULO DE FLUJOS E INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD	
FASE IV: DETERMINACIÓN DE LOS TEMAS PRIORITARIOS DE MANEJO HACIA LA SOSTENIBILIDAD	Realizar el análisis energético en términos de eficiencia para la sostenibilidad ambiental del Tecnoecosistema Palmira.
FASE V: ANALISIS Y ENTREGA DE RESULTADOS	Proponer las prioridades para la política territorial municipal.

Fuente: El Autor (2013)

3.1 Fase 1. Recopilación de información básica secundaria:

Se realizó la determinación del estado del arte del municipio de Palmira con la recopilación de información Climatológica, biofísica, y social, en fuentes públicas y privadas. A partir de la revisión del modelo de la síntesis emergética descrito en el Ítem 2.12 de este documento, se requirió de información ambiental, social y económica de fuentes integradoras como lo son, el Plan de Ordenamiento Territorial, Planes Parciales, Rendición de cuentas de la administración municipal, Anuario Estadístico de la cámara

de comercio de Palmira, agremiaciones y consulta a expertos en diferentes temáticas del desarrollo. Esta información se priorizó objetivamente en tablas y cartografía para realizar el cálculo de indicadores y definición de flujos energéticos, del cual, se definirá el Tecnoecosistema Palmira.

La mayor parte de la información para un municipio intermedio, se encontró en fuentes de cámara de comercio con el anuario estadístico, POT, y en varios casos donde no se halló, se recurrió a las fuentes de agremiaciones, consulta a expertos, sin embargo, los datos no estaban a un nivel tan desagregado como los pide el modelo de síntesis energética.

Datos de económicos y exportaciones, se presentan sólo con valores monetarios, requiriendo de estimaciones a partir de los datos de flujo del DANE.

La memoria de cálculo del Anexo A, presenta la fuente de información de donde se tomaron los datos, con lo que se pretende dar confiabilidad de los mismos, asegurándose que la fuente sea oficial o de sectores de prestigio, como ejemplo, están las unidades per cápita de la Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (2012).

Como el modelo también requiere de datos de la eMergía Nacional, para hallar la transformidad del dinero y personas, los datos de Colombia para su cálculo, fueron mucho más sencillos de encontrar debido a los informes anuales de ministerios, DANE y datos internacionales que miden el desempeño del país a nivel mundial. Muchos de los datos que se presentan en el Anexo C.

3.1.1 Estimación Pérdidas de Suelo

La estimación de la pérdidas de suelo representa una importante herramienta a los efectos de la planificación del uso de la tierra, en el marco de la gestión ambiental; el montaje de unidades experimentales en campo, permite la generación de información con base en la cual puede hacerse la modelación del fenómeno a través de, valga la redundancia, modelos usualmente de tipo paramétrico; con estos es posible establecer estimaciones indirectas de las pérdidas de suelo, lo cual se traduce en importantes ahorros de tiempo y dinero que son a su vez características de los primeros métodos; por otra parte, la información proveniente de ensayos de campo, en ocasiones no se emplea para “alimentar” tales expresiones matemáticas, sino que hace parte de trabajos de investigación de reconocida importancia dada a su vez la revestida por un fenómeno como el tratado. León (2001).

De los modelos paramétricos se destaca la Ecuación Universal de Perdidas de Suelo (EUPS), dada su extendida aplicación a lo largo y ancho del mundo, aunque de mayor importancia. Fue desarrollada por Wischmeier y Smith (1978); combina los efectos de la

energía de la lluvia, Erodabilidad del suelo, grado y longitud de la pendiente, práctica de cultivo y práctica de conservación, para la obtención de una evaluación de las pérdidas de suelo para diferentes combinaciones de estos factores. La expresión genérica de la ecuación viene dada de la siguiente forma:

$$A = K R L S C P \quad \text{Ec. 20}$$

Donde;

A = representa las pérdidas promedio anuales de suelo expresadas en unidades de masa por área por unidad de tiempo. (Ton/ha.año)

K = Erodabilidad del suelo (Ton/ha.MJ.ha/mm.hr)

R = Erosividad de la lluvia (datos de carácter multianual) (MJ mm/ha.hr.año)

LS = Condiciones topográficas

C = Factor de cubierta vegetal

P = Factor de prácticas de conservación de suelos.

Para el caso del uso del suelo, este se estimó a partir de mapas de CVC e IGAC, para luego calcular las pérdidas de suelo, por el método de Tosi 1972., quien desarrolló un modelo teórico para la estimación de pérdidas de suelo, cuyo principal atractivo reside en su aplicabilidad en las condiciones propias a las latitudes tropicales, decir, de acuerdo a las zonas de vida de Holdridge, para la clasificación y levantamiento de mapas de la capacidad de uso mayor de la tierra. Tomando como referencia el Anexo E, aplicando la ecuación a las condiciones bioclimáticas de los trópicos, esto incluye una serie de gráficos (nomogramas) presentados en el Anexo F, en los cuales se consignan valores de los factores para cada una de ellas

3.2 Fase 2: Definición del Tecnoecosistema

Para realizar el análisis sistémico del municipio de Palmira, fue necesario definir el ecosistema artificial de Palmira, al que se denominó “Tecnoecosistema Palmira”, estableciendo sus componentes, entradas de energía, recursos naturales, las interacciones con entradas y salidas de los límites de cada uno, así como la frontera con el entorno.

Para esto se requirió esquematizar los procesos que involucran los flujos de energía, como una cadena trófica, diferenciando, las entradas de fuentes de energía (Radiación, alimentos, vientos) los recursos naturales (ríos, viento, radiación, geotermia) producción primaria (cultivos, bosques, reservas naturales), comercio, urbanismo y todos los componentes rurales y urbanos (barrios, parques, industrias, acueducto, hidroeléctrica). Se tuvo en cuenta que de acuerdo con el ordenamiento territorial, un municipio Colombiano, se subdivide en componente rural y urbano.

Este esquema se realizó mediante un diagrama de flujo, usando los símbolos de la teoría general de sistemas de la figura 1-12. Los componentes son los siguientes:

- i. *Renovables*: Ríos, Sol, Lluvia, Viento, Calor, Hidroelectricidad, Geotermia, Agricultura y selva.
- ii. *No renovables*: Pérdida de Suelo.
- iii. *Importaciones*: Combustibles, electricidad, alimentos, Bienes.
- iv. *Exportaciones*: Alimentos, Bienes.
- v. *Dinero*: Mercado, Turismo, Tasas de Interés
- vi. *Personas*: Trabajadores o mano de obra
- vii. *Consumidores*: Especies de ganado, Medio Ambiente Construido Antrópico.

Este diagrama permite dar un panorama más claro de la organización de la ecología del municipio, con su metabolismo social y los servicios ecosistémicos. Una vez realizado el diagrama, se efectuó el cálculo energético de cada flujo, y se halló su equivalente energético. El diagrama con los flujos de energía, puede verse en la figura 4-1.

3.3 Fase 3: Cálculo de flujos e indicadores de sostenibilidad

Como se definió en el marco teórico, se decidió por la aplicación del modelo de la síntesis emergética, por ser la más novedosa y de mayor aplicación en modelos ecológicos. En este punto, se realizaron los diferentes cálculos (Ver Anexo A), de los flujos de Recursos Renovable, Producción de Energía renovable, Recursos No renovables a nivel local, importaciones, exportaciones desde otras regiones, nacionales e internacionales, y producto interno bruto, que se definieron en la tabla emergética que se generó a partir del diagrama “Tecnoecosistema Palmira”.

Se hallaron las cantidades de Energía de cada flujo, teniendo como referente el equivalente energético o específico y su transformidad. Estos valores se pueden observar en la tabla 4-1.

Culminada la tabla emergética se priorizaron los índices emergéticos, estos permiten tomar decisiones con el objetivo de maximizar el bienestar público con las menores pérdidas ambientales posibles, es decir, facilitar la gestión ambiental, para la toma de decisiones en la priorización de políticas públicas y detallar la sostenibilidad del municipio.

Los índices calculados fueron:

- i. “Índice de Producción de Emergía” – EYR (Emergy Yield Ratio),
- ii. “El Índice de carga ambiental” – ELR (Environmental Loading Ratio) y el
- iii. “Índice de Sostenibilidad Ambiental o Emergética” – ESI (Emergy Sustainability Index).

Mayores valores del *índice de carga ambiental* indican un mayor estrés ambiental en el sistema. Cuanto más alto sea el *índice de producción de energía*, más energía está proporcionando un proceso dado al sistema frente a la que retira. La eMergía renovable capturada se refiere al flujo de eMergía renovable capturada e introducida en el sistema, expresada en términos de inversión monetaria, teniendo en cuenta que a largo plazo sólo sistemas con un alto porcentaje de eMergía renovable capturada son sostenibles. Las fórmulas para el cálculo de estos indicadores puede observarse en la tabla 1-3 y los resultados y análisis de los mismos en la tabla 4-3.

3.4 Fase 4: Determinación de los temas prioritarios de manejo hacia la sostenibilidad

Obtenidos los índices de sostenibilidad, se realizó la interpretación y análisis de los mismos, con el fin de identificar los insumos que contribuyen más a las importaciones de energía no renovable, y de acuerdo con esto definir, hacia qué áreas o temas se deben direccionar las políticas públicas, y así evaluar la sostenibilidad ambiental del municipio definido como Tecnoecosistema.

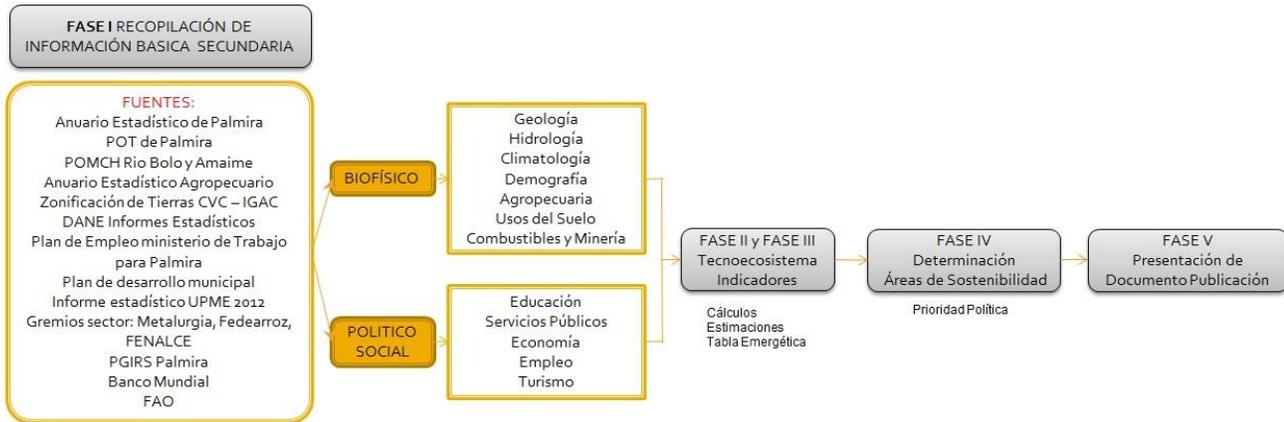
Establecer los temas de prioridad, facilitará la toma de decisiones hacia la sostenibilidad del municipio según su ecología, de manera que genere riqueza real desde el punto de vista ecosistémico, referenciando además, el contexto de ciudades emergentes y las características que se describieron en el área de estudio. Se tuvo cuenta el panorama nacional y mundial, con perspectivas de la globalidad en temas sociales, económicos y ambientales. Estas son definidas en el título 7 de conclusiones.

3.5 Fase 5: Análisis y entrega de resultados

Se realizaron las respectivas conclusiones de la aplicación de la síntesis emergética, así como las recomendaciones y las futuras decisiones para alcanzar el desarrollo sostenible del municipio. Estas recomendaciones corresponde al análisis de las debilidades y fortalezas del modelo de manera que permita un mejoramiento continuo de la metodología para la definición concreta de cómo se encuentra el municipio de Palmira para afrontar las consecuencias de la dinámica mundial en cambio climático, económico y social, como ciudad emergente que pretende ser sostenible.

La Figura 3-1, muestra la importancia en la obtención de la información básica desde la fase 1, para poder cumplir con la síntesis emergética, definir la sostenibilidad del municipio de Palmira como Tecnoecosistema y poder cumplir con los objetivos propuestos, especialmente la fase 5, donde se realizan las conclusiones interpretando los indicadores emergéticos.

Figura 3-1. Esquema Metodológico en cinco fases



Fuente: El autor (2012)

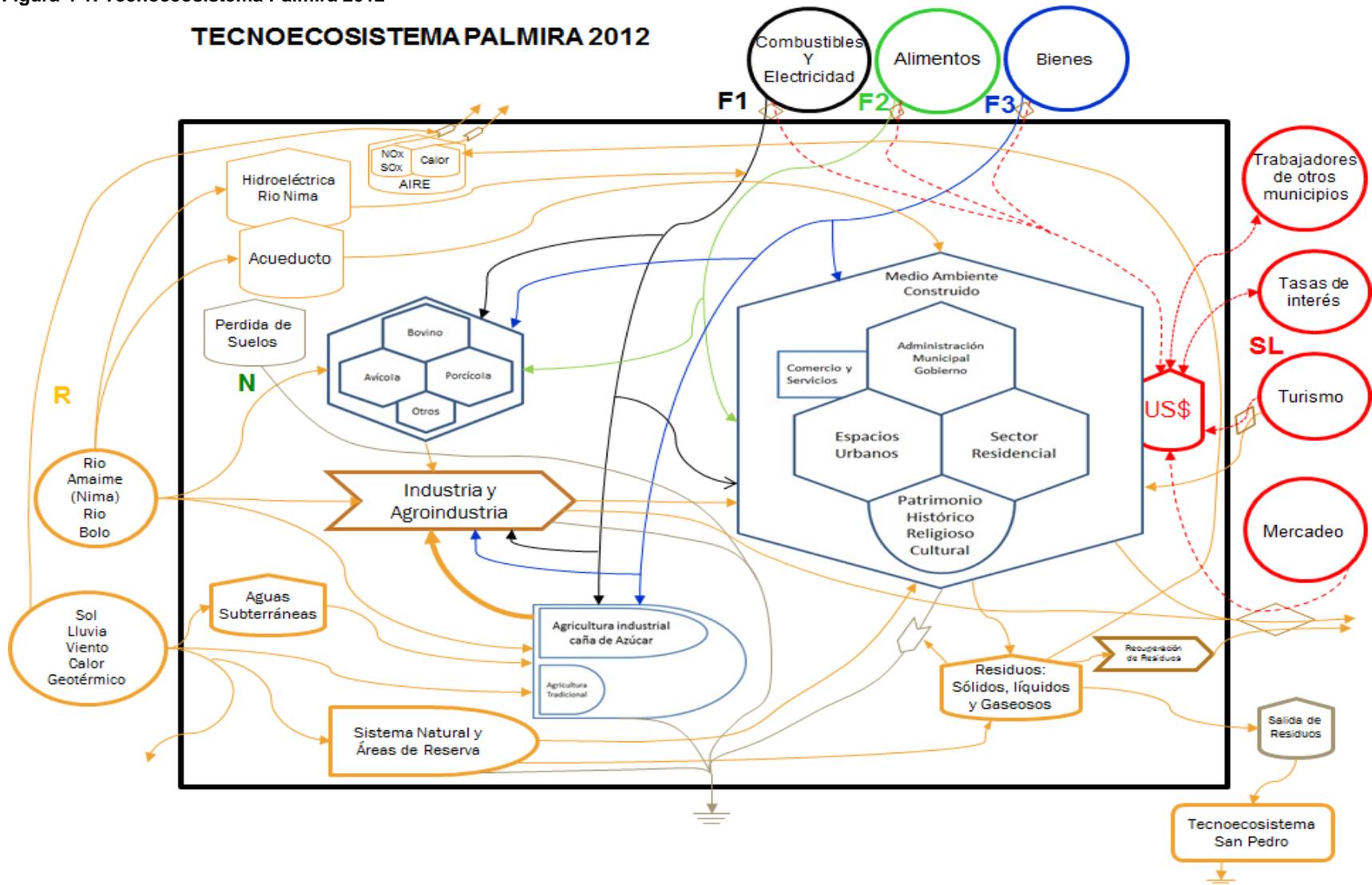
4. Capítulo 4. Resultados

4.1 Tecnoecosistema Palmira (Diagrama de Flujo)

Para definir el municipio de Palmira como sistema ecológico, se requirió establecer y definir los componentes rural y urbano que lo integran como sistema en un diagrama, de ahí, saber cuáles son los flujos de entrada y salida de energía. Este Diagrama de Flujos, se denominó “Tecnoecosistema Palmira”, identificados con la mayor especificidad, para su posterior cuantificación, así como las relaciones entre componentes con el medio ambiente, con información recopilada de distinta fuente de los componentes rural y urbana, para esquematizar las interacciones, usando los símbolos de la ecología de sistemas, que se definieron en la figura 1-12. Las interacciones del ecosistema con entradas y salidas de energía, pueden verse en la figura 4-1.

El diagrama extrae las principales características del sistema, y la relación sociedad-naturaleza con sus subsistemas ambientales y antrópicos, se organiza de izquierda a derecha, de acuerdo con el aumento del valor de la transformidad, mostrando los componentes biofísicos y los sectores económicos, así como sus interacciones (las rutas de materia y flujos de energía intercambiada), proporcionado una imagen preliminar de la complejidad interna y la dinámica. Influenciado por las cuencas del río Amaime y Bolo que a su vez hacen parte de la gran cuenca del río Cauca, con un sistema urbano que demanda bienes y servicios, un total de 298.667 habitantes y una superficie de 116.200 hectáreas, un sector agrícola dominado ampliamente por el cultivo de la caña de azúcar y su agroindustria, que incluye la producción de etanol, con algunos cultivos de alimentos y amplio sistema natural. El sector industrial y pecuario, interactúa el consumo del ambiente urbano, con exportaciones, transacciones económicas y generación de empleo.

Figura 4-1. Tecnoecosistema Palmira 2012



Fuente: El autor (2012)

Se destaca el almacenamiento de energía renovable, en la pequeña central hidroeléctrica, unido al flujo de importación de energía eléctrica y combustibles. El acueducto, la pérdida de suelo y el componente aire dependen de los flujos de recursos como el sol, la lluvia, el viento, Calor, entre otros.

Por la complejidad, se diferenciaron los flujos de energía importada con colores. El color negro para combustibles y electricidad (F1), color verde a los alimentos (F2), color azul a los bienes y servicios (F3) y color rojo al intercambio de dinero (SL). Se observa el flujo de importación de alimentos y bienes, que entran directamente al agropecuario y al sistema urbano.

En la parte inferior se denotan los sumideros de energía así como el transporte de residuos por fuera de los límites a otro Tecnoecosistema (municipio de San Pedro), lugar donde opera el relleno sanitario en el corregimiento de Presidente. Esta representación permite mostrar, como se definen los elementos de la tabla emergética, (tabla 4-1), donde se contabilizan los flujos emergéticos.

4.2 Tabla Emergética – Contabilidad Emergética

En la tabla emergética se muestran los principales flujos energéticos con su respectiva transformidad y equivalente energético distribuidos así:

- *Recursos Renovables:* Aquellos recursos locales, que se pueden regenerar de manera natural, a una velocidad tal, que el consumo humano no afecte esta regeneración: Sol, Viento, lluvias, Calor.
- *Producción de energía renovable:* Por separado también se contabilizan la energía hidroeléctrica, la agrícola y pecuaria, que se producen localmente.
- *Recursos no renovables local:* Estos que se consumen de manera que la naturaleza, se ve limitada para regenerarlos y sostener su tasa de consumo, como la pérdida del suelo.
- *Importaciones:* Aquí se encuentran todos aquellos bienes, alimentos y combustibles que entran al sistema y no se producen localmente.
- *Exportaciones Nacional e Internacional:* Son las salidas de bienes y servicios que egresan del sistema hacia otros, como alimentos, combustibles, manufacturas, entre otros.

En la tabla 4-1, se muestra 6 columnas, la primera columna indica el tipo de recurso; la segunda la unidad energética o específica (materia), en que se halla el recurso; la tercera, la cantidad neta del flujo anual; la cuarta, la transformidad para hallar la eMergía de cada recurso; la quinta, la fuente donde se halló la transformidad con el número de la fuente bibliográfica que aparece en el ítem 10 de este documento; finalmente la sexta, la eMergía del respectivo flujo del recurso en el año. Esta tabla también muestra los flujos de dinero, asociados a la ejecución del presupuesto municipal y el turismo.

Para el cálculo de la emergía de transacciones económicas fue necesario el cálculo de la emergía de Colombia para hallar su transformidad. Estos cálculos se presentan en el Anexo C, al igual que los indicadores emergéticos nacionales.

Tabla 4-1. Tabla Emergética Tecnoecosistema Palmira (2012)

Ítem (1)	Unidad (2)	Cantidad neta (3)	Transformidad (seJ/unit) (4)	Fuente bibliog. Transformidad (5)	Emergía (seJ/año) (6)=(3)x(4)	
Recursos renovables						
1	Intensidad solar	J/año	2,64E+16	1	Por definición	2,64E+16
2	Velocidad del viento (energía cinética)	J/año	3,02E+14	2,51E+03	Odum (1996)	7,59E+17
3	Lluvia (potencial químico)	J/año	1,24E+16	3,05E+04	Odum (1996)	3,78E+20
4	Geopotencial de lluvias	J/año	4,38E+16	4,66E+04	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	2,04E+21
5	Calor geotérmico	J/año	1,06E+15	5,76E+04	Odum (1996)	6,11E+19
6	Caudal de ríos	J/año	1,67E+15	3,05E+04	Odum (1996)	5,08E+19
Producción de energía renovable						
7	Hidroelectricidad	J/año	9,40E+14	3,36E+05	Odum (1996)	3,16E+20
8	Etanol	g/año	4,28E+13	5,03E+04	Fernández (2008)	2,15E+18
9	Carne	g/año	1,40E+09	3,00E+10	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	4,19E+19
10	Pescado	g/año	1,79E+08	2,78E+11	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	4,98E+19
11	Frutas y vegetales	g/año	1,85E+09	1,01E+09	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	1,87E+18
12	Azúcar	g/año	1,02E+10	6,04E+08	Odum (1996)	6,13E+18
13	Granos	g/año	5,52E+09	6,04E+08	Romitelli (2000)	3,33E+18
14	Leche	g/año	1,91E+06	1,44E+10	Romitelli (2000)	2,75E+16
15	Agua acueducto	g/año	1,38E+13	3,76E+06	Romitelli (2000)	5,17E+19
Recursos locales no renovables						
16	Pérdida de suelo	J/año	5,72E+14	1,23E+05	Odum (1996)	7,03E+19
17	Arena y grava	g/año	5,65E+10	1,68E+09	Brandt-Williams (2001)	9,49E+19
Importaciones						
18	Hidroelectricidad	J/año	9,40E+14	3,36E+05	Odum (1996)	3,16E+20
19	Electricidad	J/año	5,22E+14	1,74E+05	Odum (1996)	9,08E+19
20	Carbón	J/año	9,71E+15	6,69E+04	Odum (1996)	6,49E+20
21	Gasolina	J/año	7,50E+14	1,05E+05	Bastianoni <i>et al.</i> (2009)	7,88E+19
22	Diésel	J/año	1,01E+15	1,10E+05	Bastianoni <i>et al.</i> (2009)	1,11E+20
23	LPG	J/año	2,93E+14	1,11E+05	Bastianoni <i>et al.</i> (2009)	3,25E+19
24	Gas natural	J/año	2,23E+15	9,85E+04	Romitelli (2000)	2,20E+20
25	Cereales y granos	g/año	5,52E+10	6,04E+08	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	3,33E+19
26	Aceite	g/año	8,84E+09	4,25E+11	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	3,76E+21
27	Frutas y vegetales	g/año	1,85E+10	1,01E+09	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	1,87E+19
28	Bebidas alcohólicas	g/año	1,54E+09	1,41E+09	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	2,09E+18
29	Carne	g/año	1,40E+10	3,00E+10	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	4,19E+20
30	Pescado	g/año	1,79E+09	2,78E+11	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	4,98E+20
31	Leche	g/año	1,91E+07	1,44E+10	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	2,75E+17
32	Madera	J/año	1,24E+13	5,36E+04	Odum (1996)	6,66E+17
33	Cemento	g/año	8,31E+04	1,73E+09	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	1,44E+14
34	Caliza	g/año	9,97E+10	1,68E+09	Brandt-Williams (2001)	1,67E+20
35	Arenas y grava	g/año	9,97E+09	1,68E+09	Brandt-Williams (2001)	1,67E+19
36	Acero	g/año	1,79E+10	1,44E+09	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	2,58E+19
37	Plásticos (PET, PP, PS)	g/año	6,07E+09	4,69E+09	Brown & Ulgianti (2004)	2,85E+19

Ítem (1)	Unidad (2)	Cantidad neta (3)	Transformidad (seJ/unit) (4)	Fuente bibliog. Transformidad (5)	Emergía (seJ/año) (6)=(3)x(4)	
38	Aluminio	g/año	6,62E+08	7,74E+08	Odum. (1996)	5,13E+17
39	Cobre	g/año	3,60E+07	3,36E+09	Brandt-Williams (2001)	1,21E+17
40	Otros metales	g/año	5,52E+08	4,74E+09	Odum (1996)	2,62E+18
41	Papel y cartón	g/año	4,42E+09	7,37E+04	Lan & Odum (2004)	3,25E+14
42	Textiles	g/año	4,42E+08	1,34E+11	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	5,92E+19
43	Vidrio	g/año	5,52E+08	3,18E+09	Brown & Ulgianti (2004)	1,76E+18
44	Caucho	g/año	5,52E+08	7,21E+09	Odum (1996)	3,98E+18
45	Asfalto	g/año	1,20E+09	9,56E+09	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	1,15E+19
46	Fertilizantes	g/año	1,82E+10	8,28E+09	Ulgianti <i>et al.</i> (1994)	1,51E+20
47	Servicios asociados a importaciones	\$/año	3,04E+08	7,24E+12	Anexo D	2,20E+21
54	Mano de obra importada de otros municipios	personas/año	1,00E+03	5,68E+16	Anexo D	5,68E+19
49	Turismo	\$/año	5,37E+06	7,24E+12	Anexo D	3,88E+19
Exportaciones nacional e internacional						
50	Prod. agrícolas (azúcar y abonos)	J/año	1,51E+15	1,40E+05	Coelo <i>et al.</i> (1996)	2,12E+20
51	Etanol (Manuelita)	J/año	2,10E+15	5,03E+04	Coelo <i>et al.</i> (1996)	1,05E+20
52	Prod. agroind. (cítricos, panela y licores)	J/año	3,18E+14	2,00E+05	Fernández (2008) (1996)	6,35E+19
53	Productos químicos	g/año	1,79E+10	4,89E+09	Coelo <i>et al.</i> (1996)	8,73E+19
54	Plásticos y cauchos	g/año	1,18E+08	4,69E+09	Coelo <i>et al.</i> (1996)	5,53E+17
55	Productos de madera	J/año	4,54E+12	1,30E+06	Coelo <i>et al.</i> (1996)	5,82E+18
56	Papel y derivados	J/año	1,00E+13	1,30E+06	Coelo <i>et al.</i> (1996)	1,31E+19
57	Máquinas y equipamientos	J/año	1,02E+08	6,70E+09	Coelo <i>et al.</i> (1996)	6,83E+17
58	Vidrio	g/año	6,23E+08	3,18E+09	Coelo <i>et al.</i> (1996)	1,98E+18
59	Productos de aluminio	g/año	1,19E+09	7,74E+08	Coelo <i>et al.</i> (1996)	9,17E+17
60	Servicios y otras transacciones económicas	US \$/año	1,31E+08	1,37E+12	Coelo <i>et al.</i> (1996)	1,80E+20
	PIB municipal	US \$/año	3,58E+08			
	Ejecución gubernamental	US \$/año	1,21E+08			

Fuente: El autor (2012)

La Tabla 4-2, muestra cómo se realizaron los cálculos para hallar eEmergía de los recursos renovables y las fuentes donde se obtuvieron los datos. En el Anexo A, se podrán observar la memoria de cálculos de los 60 ítems de la tabla emergética.

Tabla 4-2. Memoria de Cálculo de eEmergía Recursos Renovables.

SIGL A	Recurso – Bien o Servicio	Fuente	Valor	FORMULA
Recursos Renovables				
1	Radiación Solar			
RS	Radiación promedio multianual kWh/m ² /año	UPME (2005)	4,5	
FC	Factor de conversión J/Kwh		3,60E+06	
AT	Área Terrestre m ²		1,63E+09	ES=RS*AT*FC
ES	Energía Solar en Julios/año		2,64E+16	

Fuente: El Autor (2012)

4.3 Indicadores Emergéticos

Los indicadores emergéticos permiten establecer el estado del Tecnoecosistema Palmira, con la sumatoria de los flujos emergéticos y la sumatoria total de eMergía para el cálculo de los índices que permitirán el análisis para la toma de decisiones en gestión ambiental y direccionamiento de Políticas Públicas en Planeación. Para este caso, se priorizaron los índices de Producción de eMergía (EYR), el índice de carga ambiental (ELR) y el índice de Sostenibilidad Emergética o Ambiental (ESI), a la vez se hizo una comparación con los indicadores a nacionales, así como el porcentaje de producción de eMergía de cada flujo de manera que se haga menos complejo el análisis, Tabla 4-3.

La tabla 4-3, compara indicadores emergéticos entre Palmira y Colombia, sin desconocer las proporciones entre la concentración de recursos y territorio, sin embargo, da un margen de idea, de cómo se encuentra la sostenibilidad de municipios intermedios en comparación con la sostenibilidad nacional, permitiendo indicar que la sostenibilidad puede mejorarse, ya que, la capacidad del sistema colombiano abarca el dominio de estrategias en el flujo de emergencia y el diseño de políticas regionales.

En la misma tabla las categorías de los flujos de entrada son mostradas, destacándose que los flujos locales renovables y no renovables, con una buena participación con respecto a la emergencia total, para un 36%, sin embargo, los importados tienen mayor aporte, esto refleja una capacidad de carga que podría ser menor si no fuera por el sistema actual de desarrollo en bienes y servicios. Llama la atención que el flujo más alto de emergencia, se presenta en las importaciones, es decir, a la entrada al Tecnoecosistema, que corresponde a los alimentos importados con un 37%, teniendo en cuenta, el potencial agrícola del Tecnoecosistema por la disponibilidad de suelos y calidad de varios de ellos en diferentes áreas, le siguen combustibles y electricidad y posteriormente bienes y servicios.

Las formulas respectivas para el cálculo de los flujos se muestran en la tabla 4-1, sin embargo la tabla 4-3, también presenta la forma como se hallaron los indicadores a partir de los flujos de eMergía.

Tabla 4-3. Indicadores Emergéticos

Flujos en Conjunto de la Tabla Emergética		Unidades	Flujo de Emergía	%
R	Emergía Renovable	SeJ/año	3,04E+21	24%
N	No renovables local	SeJ/año	8,36E+20	6%
Nn	Perdida de Suelos local	SeJ/año	1,65E+20	1%
Ne	Productos directamente exportados	SeJ/año	6,71E+20	5%
F1	Emergía Importada de Combustibles y electricidad	SeJ/año	1,50E+21	12%
F2	Emergía Importada Alimentos	SeJ/año	4,73E+21	37%
F3	Emergía Importada de bienes y comodidades	SeJ/año	4,69E+20	4%
SL _N	Fracción no renovable (94%) de mano de obra y servicios de importación	SeJ/año	2,13E+21	16%
SL _R	Fracción renovable (6%) de mano de obra y servicios de importación	SeJ/año	3,41E+18	0,03%
U	Emergía Total	SeJ/año	1,29E+22	100%
Indicadores de Desempeño			PALMIRA	COLOMBIA
U/PIB _m	Emergía/PIB _m ⁵	SeJ/\$	3,60E+13	7,24E+12
U/P	Emergía/hab	SeJ/Persona	4,3E+16	5,68E+16
A	Área Urbana	m ²	1,6E+09	1,14E+12
(R/U) x Población	Capacidad de Carga Renovables	Población	71.770	32.134.603
U/A	Densidad Potencial	SeJ/m ² /año	7,9E+12	2,32E+12
EYR	Índice de Producción de emergía $U/(F1+F2+F3+SL_N)$		1,46	13,68
ELR	Índice de Carga Ambiental $(N+F1+F2+F3+SL_N)/(R+SL_R)$		3,2	0,45
ESI	Índice de Sostenibilidad Ambiental (EYR/ELR)		0,46	30,69
U _{pal} /U _{Col}	Emergía de Palmira/Emergía Colombia	%	0,49	

Fuente: El autor (2012)

⁵ Producto Interno Bruto Municipal

Los flujos de energía locales renovables y no renovables, muestran un gran aporte debido a la disponibilidad que existe de ellos sobre el territorio Palmirano, con un 24% y 6% de Producción respectivamente.

La carga ambiental ELR con 3,2, es un dato aceptable y manejable, que podría ser más bajo debido al gran aporte que tiene la disponibilidad de recursos renovables y no renovables sobre el Tecnoecosistema, que se limita por el flujo de importaciones.

La sostenibilidad ambiental del Tecnoecosistema Palmira, ESI de 0,46, es mayor a los presentados en sistemas urbanos a nivel mundial consultados en Ulgiati S. et. Ál (2007), ya que este indicador en promedio alcanza 0,05 en estos Tecnoecosistemas. Sin aseverar que esto es bueno, pues, se trata de ciudades de mayor tamaño, es muy superior, y puede ser similar en los demás municipios intermedios vallecaucanos por las condiciones de disponibilidad del componente rural. Debe ser prioridad aumentar el ESI a 1 (uno), de manera que se aproveche el aporte de energía de los recursos renovables para lograr resiliencia del sistema.

Para poder aumentar o mantener esta sostenibilidad ambiental, la prioridad en la gestión ambiental, debe dirigirse al análisis y manejo del flujo F2 (alimentos) y el flujo F1 (combustibles y electricidad), debido al aporte de energía desde afuera del Tecnoecosistema, implicando la importación de alimentos, que es competencia del uso agrícola del suelo, ampliamente dominado por cultivos industriales sin aseverar que es de su total responsabilidad.

La generación de riqueza real, entonces, está siendo limitada por el actual uso del suelo, y puede mejorarse para la sostenibilidad ambiental de municipio, con un mejor aprovechamiento de este recurso, lo cual, implica que la gestión en temas de uso del suelo, sea, transversal. Esto aumentaría la mano de obra y un mayor aporte de energía local, correlacionado con la necesidad de mejoramiento en técnicas de producción agropecuaria y agroforestal en más del 23% del territorio, que no se aprovecha de manera sostenida, direccionando la formulación de política pública en un uso adecuado del suelo en el reordenamiento del territorio, reforzando, además, programas de conservación del suelo, reforestación, uso de coberturas y el uso del suelo ganadero en zonas de riesgo.

4.4 Discusión

La responsabilidad del uso adecuado del suelo de acuerdo con los resultados del F2 (Alimentos Importados), implica renovar y aportar al debate de las unidades agrícolas familiares que trasciende desde el modelo de producción agrícola impuesto desde los años 70's, sobre la capacidad del Tecnoecosistema de promover riqueza con las necesidades alimentarias del mundo y potencialidad como reserva agrícola, que puede reforzarse con un análisis más profundo de la energía de Colombia.

La prospectiva de la globalización está ofreciendo aumento de las oportunidades financieras, ampliando la cultura consumista del individuo e industrias del municipio, lo que puede significar el aumento del F1 (Combustibles y electricidad) en demanda de

combustibles, parque automotor y el F3 (bienes y servicios) con artículos electrodomésticos, por lo que se deben fijar estrategias para apoyar normas de producción más limpia y cultura ciudadana o reforzar las ya existentes a nivel nacional.

El que Palmira sea una ciudad intermedia y contar con un anuario estadístico de la cámara de comercio, un POT y agremiaciones, permitió hallar información para la aplicación del método, sin embargo, buena parte de ella debió estimarse de varias fuentes privadas y estatales nacionales y fuentes internacionales, debido a no estar tan desglosada como lo exige el método, lo que hace que el estudio sea muy dispendioso. A pesar de ello, desde ahora se cuenta con una línea base para mejorar las fuentes de información y realizar los respectivos balances de masa y energía temporales y verificar el comportamiento de los indicadores emergéticos en corto plazo.

Actualmente se viene debatiendo la eficacia de las Unidades Agrícolas Familiares – UAF y la necesidad de un reordenamiento territorial serio en el uso del suelo nacional, este documento permite valorar este debate, debido a que Palmira, por su posición geográfica, sus ventajas comparativas y estar sujeta al metabolismo social de la ciudad de Cali, debe direccionar una política transversal hacia un uso efectivo del suelo, que impulse la producción de alimentos y su agroindustria, acompañado del ordenamiento urbano. Por lo tanto debe existir disposición política para proponer al municipio de Palmira, como una ciudad emergente, para hacerla más sostenible y competitiva y cumpla con las tres áreas críticas para este propósito.

El valor de emergía local, por la estructura que constituye los municipios intermedios del Valle del Cauca, con los componentes rural y urbano, y la disponibilidad de recursos naturales en zonas de vida similares, pueden presentar los mismos comportamientos, lo que se puede constituir en una nueva pregunta de investigación, y establecer rangos estadísticos descriptivos de la emergía en municipios de Colombia.

De acuerdo a la literatura consultada, especialmente de estudios de ciudades de Europa y Asia, las ciudades colombianas puede estar presentando una sostenibilidad mucho mayor y manejar una carga ambiental, que permitan la efectividad de políticas públicas de desarrollo. Por lo tanto, puede hacerse una recopilación de datos de indicadores y contextos de otros estudios de ciudades y compararlos con la emergía de ciudades Colombianas.

Para mejor visualización de los resultados de la contribución real de los insumos aportados y de la sostenibilidad global de los procesos de producción, se puede realizar la aplicación de diagramas ternarios que ofrecen una representación gráfica, muy eficiente para la caracterización de los sistemas, que se puede describir con tres variables. Almeida (2004). Este modelo, ampliamente utilizado en las ciencias físicas, se basa en las propiedades geométricas de triángulos equiláteros. El triángulo basado en la contabilidad de emergía e índices de emergía para evaluar los procesos de producción y permisos de los sectores industriales, es usado para evaluar la situación real de un determinado proceso y también para identificar los parámetros críticos que pueden cambiarse para mejorar el rendimiento medioambiental de todo el sistema.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Es posible valorar sistemas urbanos, como el municipio de Palmira, como sistema ecológico, denominado “Tecnoecosistema”, con el método de la síntesis emergética, permitiendo diferenciar entre economía ambiental y economía ecológica, dando valor a los recursos naturales en conjunto con todo el sistema económico y social, en una sola contabilidad y así direccionar las áreas de sostenibilidad, con el cálculo de índices emergéticos, y priorizar políticas públicas.

El método de la síntesis emergética es útil para identificar los insumos que contribuyen más a las importaciones de energía no renovable. La importación de recursos da una idea de una falta de sostenibilidad económica, mientras que el hecho de que no es renovable, sugiere una escasez futura debido a una dependencia de la disponibilidad real de recursos en la tierra.

La aplicación de la síntesis emergética, expone la debilidad de los métodos crematísticos de valoración ambiental, al no poder aplicar un valor a los servicios ambientales o ecosistémicos, no están involucrando su valor social, subestimando su conservación.

Sin embargo, la aplicación del método de la síntesis emergética, presenta la debilidad de no incluir el componente social y el análisis de preferencias sociales, que los métodos crematísticos, hacen en sus valoraciones, pero, siguen siendo imprecisos según varios de los autores consultados. Por lo tanto, este trabajo se centra en el valor de servicios ecosistémicos, para la toma de decisiones, a las que se debe dirigir lo político que involucra el componente social de Palmira, en temas de educación y empleo.

5.2 Recomendaciones

El análisis de los flujos, debe ampliarse con el estudio de energía importada F1 (Combustibles y electricidad) y F3 (Bienes y comodidades), que incluya un valor aproximado de entradas de artículos eléctricos, electrónicos y partes de automóviles, de manera que se clasifiquen los materiales componentes y la cantidad generada con su respectiva transformidad, esto permitirá un análisis más exacto del estrés ambiental del Tecnoecosistema.

Es conveniente integrar estudios de emisiones de CO₂ y polución – asociados a la huella de Carbono, a través de la síntesis emergética, para generación de riqueza y midan la

aplicación de políticas de Cambio Climático integrado al CONPES 3550 de 2008 en salud ambiental.

Debe darse prioridad al debate político hacia el reordenamiento territorial nacional, que defina la zonificación regional de la agricultura y la agroindustria, y el apoyo de capital social, es decir, personal capacitado, que atienda el desafío de una renovación en el uso del suelo agrícola, tomando modelos exitosos de otros países como Brasil, en producción de alimentos.

La síntesis emergética permitiría realizar el estudio de viabilidad al desarrollo de regiones con sostenibilidad ambiental, en el marco de la Ley 1454 de 2011, con la aplicación de método de síntesis emergética, que para el caso de región a la que pertenece Palmira, se consideraría el análisis de un Tecnoecosistema conformado por los departamentos de Chocó, Valle, Cauca y Nariño.

El estudio de la Síntesis Emergética para el ecosistema Palmira, debe actualizarse en periodos de corto plazo acorde al Plan de Ordenamiento Territorial, es decir, máximo cada cuatro años, de manera que permita un análisis temporal con datos que impliquen estadística inferencial, y pronosticar probabilidades emergéticas.

La metodología podría replicarse en municipios cercanos a las grandes capitales colombianas, Bogotá, Medellín y Barranquilla, de manera que permita la comparación de indicadores de sostenibilidad y medición política públicas.

A. Anexo: Memoria de cálculos eMergía Tecnoecosistema Palmira y Colombia

SIGLA	Recurso – Bien o Servicio	Fuente	Valor	FORMULA
Recursos Renovables				
1	Radiación Solar			
RS	Radiación promedio multianual Kwh/m ² /año	UPME (2005)	4,5	
FC	Factor de conversión J/Kwh		3,60E+06	
AT	Área Terrestre m ²		1,63E+09	ES=RS*AT*FC
ES	Energía Solar en Julios/año		2,64E+16	
2	Velocidad del Viento			
Vv	Velocidad del Viento prom. multianual m/s/año	UPME (2006)	1,5	
Cat	Altura capa atmosférica m		1000	
DA	Densidad del Aire kg/m ³		1,3	
CE _a	Calor Específico del Aire Kcal/Kg-K		0,24	
Gt	Gradiente de Temperatura K/m		3,00E-09	
FC	Factor de conversión J/kcal		4,19E+03	
AT	Área Terrestre m ²		1,63E+09	
T	Segundos en el año		3,15E+07	
Ev	Energía del viento J/año		2,26E+14	Ev=Vv*Cat*DA* CE _a * Gt* FC*AT*T
3	Potencial Químico de Lluvia			
Eq	Energía química de lluvia ΔG J/kg		4,94E+03	
Pc	Precipitación anual m/año	Anuario est. Palmira	2	
D _{H2O}	Densidad del Agua Kg/m ³		1000	
Ev	Fracción Evapotranspiración		0,8	
AT	Área Terrestre m ²		1,63E+09	
PQ_{II}	Potencial Químico de llluvias en Julios		1,29E+16	PQ _{II} = Pc*AT* D _{H2O} * Eq* Ev
4	Geopotencial de Lluvias			
AT	Área terrestre m ²		1,63E+09	
Pc	Precipitación anual m/año	Anuario est. Palmira	2	
Em	Elevación media del relieve m	CVC (2000)	2992	
Fs	Flujo Superficial de la Precipitación	POMCH Rio Amaime	61%	
Gr	Gravedad m/s ²		9,80E+00	
D _{H2O}	Densidad del Agua kg/m ³		1,00E+03	
Gp_{II}	Energía Total en Julios		4,38E+16	Gp _{II} = AT*Fs*Pc*Em*Gr*0,75* D _{H2O}
5	Calor Geotérmico			
D _{sub}	Distancia de temp subsuelo m	http://www.cocme.org/ac/images/stories/mesa_u/11-%20lap.pdf	3000	
T	Temperatura a 3 Km de profundidad °C		80	
T _{amb}	Temperatura ambiental promedio °C		23	
λ	Cond. Term. suelo FA λ en (W/m ² .°C)		1,67	$Q = \frac{\lambda * (T_{amb} - T)}{D_{sub}}$

SIGLA	Recurso – Bien o Servicio	Fuente	Valor	FORMULA
Q	Flujo de Calor Promedio (entregado) (J/m ² /s)		3,17E-02	$Q_g = Q * Ts * AT$
Ts	Segundos en el año		3,15E+07	
AT	Area Total (m ²)		1,63E+09	
Qg	Calor Geotermico Total en Julios		1,63E+15	
6	Potencial Químico de Ríos			
	Caudal promedio anual Rio Amaime m ³ /s	POMCH ⁶ RIO AMAIME	10,11	
	Caudal promedio anual Rio Bolo m ³ /s	POMCH RIO BOLO	0,59	
Q _{total}	Caudal Total		10,7	
D _{H2O}	Densidad del Agua Kg/m ³		1000	$EQR = QC_{Anual} * D_{H2O} * EP_{H2O}$
QC _{anual}	Caudal anual m ³ /año		3,37E+08	
EP _{H2O}	Energía Potencial del Agua ΔG J/Kg		4,94E+06	
EQR	Energía total en Julios		1,67E+15	
	<u>Producción de Energía Renovable</u>			
7	Hidroelectricidad			
	Del 65% de la hidroelectricidad que recibe Palmira el 2% corresponde a la pequeña central hidroeléctrica sobre el río Nima. Tomado del Cálculo N° 19.	Informe de Interconexión EPSA		
	2% Hidroelectricidad en Julios		9,70E+14	
8	Etanol			
	Producción de etanol Litros/día	ASOCAÑA - Ingenio Manualita pdón territorio Palmirano	2,50E+05	
PC _{2H6O}	Pdón m ³ /año	http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cartagena_sep_07asocana_v2.pdf	9,13E+04	
DC _{2H6O}	Densidad del Etanol kg/m ³		7,89E+02	$P_{Etanol} = PC_{2H6O} * DC_{2H6O}$
P _{Etanol}	Pdón kg/año		7,20E+07	$E_{C2H6O} = P_{Etanol} * PC_{C2H6O}$
PC _{C2H6O}	Poder Calorífico Kj/kg		2,97E+04	$E_{palmira} = E_{C2H6O} * 0,02$
EC _{2H6O}	Energía Total en J		2,14E+15	
	El 10% de la gasolina posee etanol, de lo que se estima que de la producción el 2% está presente en la gasolina que consume Palmira			
E _{palmira}	2% de la Energía Total de etanol en J		4,28E+13	
	Producción Agropecuaria			
	De la demanda de productos Agrícolas, solo el 10% se produce en territorio Palmirano, tomando datos ítem 25 al 31.	Secretaria de Agricultura Palmira		
9	Carne g/año		1,40E+09	
10	Pescado g/año		1,79E+08	
11	Frutas y Vegetales g/año		1,85E+09	
12	Granos g/año		5,52E+09	
13	Azúcar g/año			
C _{azú}	Consumo percapita de azúcar Kg/hab/año	http://www.asocana.org/documentos/2452011-6ab62dfe-00ff00_000a000_878787_c3c3c3_0f0f0f_b4b4b4_ff00ff_2d2d2d_b9b9b9.xls	3,40E+01	
CT_{azú}	Consumo de azúcar g		1,02E+10	$CT_{azú} = C_{azú} * HAB$
14	Leche		1,91E+06	
15	Agua Acueducto			
C _{H2O}	Consumo de Agua m ³ /año	Anuario Estadístico de Palmira	1,38E+07	
D _{H2O}	Densidad del Agua g/m ³		1,00E+06	$M_{H2O} = C_{H2O} * D_{H2O}$
M_{H2O}	Masa de Agua usada g/año		1,38E+13	

⁶ Plan de ordenación y manejo de cuenca hidrográfica

SIGLA	Recurso – Bien o Servicio	Fuente	Valor	FORMULA
<i>Recursos No Renovables Local</i>				
16	Perdida de Suelos	Ver Anexo H		
Ac	Área Cultivada Sujeta a Erosión	Estimado de IGAC (2004)	1,02E+09	
A	Perdida (A) neta de suelos g/m ² /año	Estimado de León (2001)	2,1E+03	
MO	Materia Orgánica %	Estimado de Tabla A33 IGAC (2004)	4%	$EA=Ac \cdot A \cdot MO \cdot (1 - MO_{H2O}) \cdot E_{MO} \cdot FC$
E _{MO}	Energía Cont. M.O seca Kcal/g		5	
FC	Factor de Conv. J/Kcal		4186	
MO _{H2O}	Asumiendo cont. de agua en M.O		70%	
EA	Energía Total en Julios		5,72E+14	
17	Argrat: Arena y Grava 85% g/año		5,65E+10	Argrat= ArGra*0,85
<i>Energía Importada</i>				
E _{elec}	Consumo de Energía Kwh/año	Anuario Estadístico del Valle	4,14E+08	
FC	Factor de conversión J/Kwh		3,60E+06	
	Energía en Julios		1,49E+15	
18	H_{elec} Hidroelectricidad local 63% J	Informe Interconexión EPSA	9,40E+14	H_{elec}= E_{elec}*FC*0,63
19	T_{elec} Termoelectricidad 35% J		5,22E+14	T_{elec}=E_{elec}*FC*0,35
20	Carbón			
	Consumo Colombia Toe	www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Balance.aspx?IdModulo=3	6,10E+06	
FC	Factor de Conv. Julios		4,19E+10	
	Consumo Carbón Valle del Cauca %	www.upme.gov.co/Docs/Mercado_Carbon.pdf (pag30)	19%	E_{carbón}= Ecpal* FC
Ecpal	Estim. Consumo Palmirano 20% Tjulios		2,32E+05	
E _{carbón}	Energía Total en Julios		9,71E+15	
21	Gasolina			
Gasoper	Kg equiv de petroleo/habitante/año	Banco Mundial (2009)	0,06	
FAC	Factor de conversión Julios		4,19E+10	Gasoper= Gasoper* HAB* FAC
HAB	N° de habitantes		298.667	
Gasoper	Gasolina Energía Total en Julios		7,50E+14	
22	Diesel			
Diesper	Ton equiv de petroleo/habitante/año	Banco Mundial (Kg equivalente de petróleo)	0,081	
FAC	Factor de conversión Julios		4,19E+10	Dies= Diesper*HAB* FAC
HAB	N° de habitantes		298.667	
Dies	Diesel Energía total en Julios		1,01E+15	
23	LPG			
LPGper	Kg/hab/año (estimado)	Andesco 2011 - Propano	23	LPGm = (LPGper* HAB)/1000
HAB	N° de habitantes		298.667	LPG=LPGm*FAC
LPGm	Ton/año		6,82E+03	
FAC	Factor de conversión J/ton		4,26E+10	
LPG	LPG Energía Total en Julios		2,91E+14	
24	Gas Natural			
GASPER	m ³ /habitante/año	www.indexmundi.com/m/ap/?v=137000&l=es	192,09	GASm = GASPER* HAB

SIGLA	Recurso – Bien o Servicio	Fuente	Valor	FORMULA	
HAB	N° de habitantes		298.667		
GAS _m	m ³ /año		5,70E+07	GAS= GAS _v * FC	
FC	Factor de conversión J/m ³		3,89E+07		
GAS	GAS Energía total en Julios		2,22E+15		
Comida					
HAB	N° de habitantes		298.667	Po= PoPER* HAB	
25	Cerper	Consumo de granos y cereales kg/año/hab	Fenalce y Fedearroz	184,82	
	Cer	Consumo de granos y cereales g/año		5,52E+10	Cer= Cerper*HAB
26	Acper	Consumo de aceite Vegetal kg/año/hab	Fedepalma	29,6	
	Ac	Consumo de aceite Vegetal g/año		8,84E+09	Ac= Acper*HAB
27	Frutper	Consumo de Fruta kg/año/hab	Agronet	40	
	Frut	Consumo de Fruta g/año		1,19E+10	Frut= Frutper*HAB*1000
	Veg _{per}	Consumo de Vegetales kg/año/hab	Corporación Colombia Internacional	22	
	Veg	Consumo de Vegetales g/año		6,57E+09	Veg= Veg _{per} *HAB*1000
	FruVeg	Total consumo de frutas y vegetales g/año		1,85E+10	FruVeg= Frut+ Veg
28	Alcoh _{per}	Consumo beb. alcohol litros/persona/año	Facultad latinoamericana de Ciencias Sociales	6,3	
	Alcoh _v	Consumo de alcohol litros/año		1,88E+06	
	D _{alcoh}	Densidad del Alcohol Etílico g/litro		7,89E+02	Alcoh= Alcoh_{per}*HAB* D_{alcoh}
	Alcoh	Consumo de bebidas alcoholicas g/año		1,48E+09	
29	PoPER	Consumo de Pollo kg/año/hab	DANE, FENAVI, FEDEGAN	23	
	Po	Consumo de Pollo g/año		6,87E+09	
	Caper	Consumo de Carne Res kg/año/hab		16	Ca= Caper*HAB
	Ca	Consumo de Carne Res g/año		4,78E+09	
	Ccerper	Consumo de Carne Cerdo kg/año/hab		7,8	Ccer= Ccerper*HAB
	Ccer	Consumo de Carne Cerdo g/año		2,33E+09	
	Car	Total consumo de Carne g/año		1,40E+10	Car=Ca+Ccer
30	Pezcar	Consumo de Pescado kg/año/hab		6	
	Pesc	Consumo de pescado g/año		1,79E+09	Pesc= Pezcar*HAB*1000
31	Lecper	Consumo de leche litro/año/hab		62	Lec= Lecper*HAB* DLec
	Lec _v	Consumo de leche litro/año		1,85E+07	
	DLec	Densidad de la leche g/litro		1,032	
	Lec	Total consumo de leche g/año		1,91E+07	
32		Madera			
	ARha	En 1 Hectárea (1000m ²) Produce 1300 árboles por ha en promedio			ConArb=HAB*2/1000
	ConArb	Si en Colombia existe un consumo de 2 árboles por cada 1000 habitantes entonces, se estima que Palmira Consume arboles/año		597	→ Hanec =ConArb*10000/1300
	Hanec	Hectáreas necesarias para Palmira		78	→ Conmad= Hanec*20
	Conmad	Si una Ha en promedio produce 20 m ³ , el Consumo de Madera en m ³ /año		1,55E+03	→ MAD= Conmad*FC
	FC	Factor de Conversión J/m ³		8,00E+09	
	MAD	Energía Total en Julios		1,24E+13	
Materiales de Construcción					
33	Cem _{valle}	Consumo de Cemento en el Valle Ton/año	DANE ANEXO 7 (2012)	8,31E+05	
	Cem _{pal}	Consumo de Cemento en Palmira (10%) Ton/año	http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-eco/97-boletines/comunicados-y-boletines/2738-estadisticas-de-cemento-gris	8,31E+04	Cem _{pal} = Cem _{valle} *0.1
		Se asume que son necesarias 1,2 ton de piedra Caliza y 1,6 ton de arena y grava para producir 1 ton de cemento y 50% de arena y grava son recuperadas.			
34		Piedra Caliza g/año			= Cem _{pal} *1,2*10E+6

SIGLA	Recurso – Bien o Servicio	Fuente	Valor	FORMULA
35	ArGra Arena y Grava g/año		6,64E+10	
	Argra_t Arena y Grava 15% g/año		9,97E+10	$ArGra = (Cem_{1pai} * 1,6) * 0,5 * 10E+06$ $Argra_t = ArGra * 0,15$
36	En Colombia actualmente el uso de acero es de 69 kg/hab, para Palmira se asume 60	www.elespectador.com/impreso/negocios/articulo-309142-consumo-de-acero-al-alza		
	Habitantes de Palmira		2,99E+05	
	Ace Acero de consumo en Palmira g/año		1,8E+10	
	Materiales Usados			
	RES Generación aprox. de residuos Ton/año	PGIRS ⁷ de Palmira	55200	
37	Poli Plásticos g/año		6,07E+09	$Poli = RES * 0,11 * 10E+6$
38	Alu Aluminio g/año		6,62E+08	$Alu = RES * 0,012 * 10E+6$
	Cu_{Valle} Consumo de Cobre Valle del Cauca Ton/año	Estimado estadísticas UPME para el Valle	1200	
39	Cu Cobre g/año	Estima consumo del 3%	3,60E+07	$Cu = Cu_{Valle} * 0,03 * 10E+6$
40	Metal Otros Metales g/año		5,52E+08	$Metal = RES * 0,01 * 10E+6$
41	PyC Papel y Cartón g/año		4,42E+09	$PyC = RES * 0,08 * 10E+6$
42	Tex Textiles g/año		4,42E+08	$Tex = RES * 0,008 * 10E+6$
43	Vi Vidrio g/año		5,52E+08	$Vi = RES * 0,01 * 10E+6$
44	Caucho Caucho g/año		5,52E+08	$Caucho = RES * 0,01 * 10E+6$
45	Asfalto			
	V _{pav} Vías pavimentadas m ² /año	Estimado plan de desarrollo 2012 - 2015	600.000	
	C _{asf} Cantidad de Asfalto requerida por m ² en litros		2	$Asf = V_{pav} * C_{asf} * D_{asf}$
	D _{asf} Densidad g/litro		1000	
	Asf Cantidad de gramos/año		1,20E+09	
46	Fertilizantes			
	Fer _{ha} Por Hectarea Kg/ha (estimado – Colombia)	Banco Mundial http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS	499	
	Ha _{pro} Has de pdón	Estimado de IGAC (2004)	36482	$Fer = Fer_{ha} * Ha_{pro}$
	Fer Consumo de fertilizantes g / año		1,82E+10	
47	Servicios Asociados a importaciones US\$/año	Cifras CIF Anuario estadístico de Palmira 2012	304'083.098,09	
48	Mano de obra import de otros municipios Personas	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico	1000	
49	Turismo US\$/año	Concejo Consultivo Municipal de Turismo	5'368.421	
60	Servicios y otras transacciones económicas	Cifras FOB Anuario estadístico de Palmira 2012	1,31E+08	
	PIB	DANE 2012		
	Ejecución Gubernamental US\$/año	Anuario Estadístico de Palmira – Finanzas Públicas 2012	1,21E+08	

Los ítems del 50 al 59 fueron estimados del DANE <http://www.dane.gov.co/index.php/comercio-exterior/exportaciones/97-boletines/comunicados-y-boletines/4464-exportaciones> a diciembre de 2012 Anexo 12, tomando como referencia datos del Anuario estadístico de Palmira 2012.

Fuente: El Autor (2012)

⁷ Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos

B. Anexo: Cálculo de Transformidad del Dinero y Personas

<i>Cálculo de Transformidad del Dinero y Personas</i>		
SIGLA	Valor	FORMULA
	Emergia Colombia Sej/año	2,64E+24
	PIB Colombia	3,65E+11
Tr_{dinero}	Transformidad del Dinero Sej/\$	$Tr_{dinero} = \text{Emergia de Colombia} / \text{PIB Colombia}$
$Tr_{personas}$	Transformidad de las personas Sej/pers	$Tr_{personas} = \text{Emergia de Colombia} / \text{Habitantes de Colombia}$
		5,68E+16

Fuente: El Autor (2012)

C. Anexo: Tabla Emergética Colombia

Item	Unidad	Cantidad Neta	Transformidad (seJ/unidad)	Emergía (seJ/año)	
Recursos Renovables					
1	Radiación Solar	J/año	6,94E+18	1	6,94E+18
2	Potencial Químico de Lluvia	J/año	1,30E+19	1,54E+04	2,00E+23
3	Potencial Químico de Ríos	J/año	7,62E+18	4,10E+04	3,13E+23
4	Geopotencial de Lluvia	J/año	3,53E+19	8,89E+03	3,14E+23
5	Viento	J/año	3,34E+17	6,23E+02	2,08E+20
6	Olas	J/año	4,33E+17	2,54E+04	1,10E+22
7	Mares	J/año	2,42E+16	2,35E+04	5,69E+20
8	Sedimentos	g/año	2,29E+14	1,71E+09	3,92E+23
9	Surgimiento Geológico	J/año	2,91E+17	2,80E+04	8,15E+21
10	Geopotencial de Ríos	J/año	5,85E+19	8,50E+03	4,97E+23
Fuentes de Energía Renovable					
11	Hidroelectricidad	J/año	1,37E+17	1,59E+05	2,18E+22
12	Agricultura	J/año	3,75E+17	1,40E+05	5,25E+22
13	Pecuaría	J/año	4,03E+15	2,00E+06	8,05E+21
14	Pesca	J/año	5,61E+14	2,00E+06	1,12E+21
15	Leña	g/año	1,02E+17	5,36E+04	5,47E+21
16	Silvicultura	J/año	1,34E+14	1,04E+05	1,39E+19
Fuentes de energía no renovable					
17	Producción Forestal	J/año	1,24E+16	3,19E+04	3,97E+20
18	Gas Natural	J/año	3,78E+16	9,84E+04	3,72E+21
19	Petróleo	J/año	2,04E+18	5,30E+04	1,08E+23
20	Minerales	J/año	9,32E+13	1,68E+09	1,57E+23
21	Perdida de Suelos	J/año	7,02E+16	7,38E+04	5,18E+21
Importaciones y Recursos de Otros Países					
22	Petróleo y sus derivados	J/año	2,44E+17	6,00E+04	1,46E+22
23	Pecuarios y sus productos	J/año	9,55E+14	2,00E+05	1,91E+20
24	Productos Agrícolas	J/año	9,57E+16	1,40E+05	1,34E+22
25	Productos Agroindustriales	J/año	3,47E+16	2,00E+05	6,95E+21
26	Productos Minerales	g/año	3,96E+11	1,68E+09	6,65E+20
27	Productos químicos	g/año	4,44E+12	4,89E+09	2,17E+22
28	Plásticos y Cauchos	g/año	1,09E+12	4,69E+09	5,10E+21
29	Productos de Madera	J/año	4,12E+15	1,30E+06	5,35E+21
30	Textiles	J/año	6,98E+15	1,30E+06	9,07E+21
31	Máquinas y equipamientos	J/año	1,82E+12	6,70E+09	1,22E+22
32	Acero y otras aleaciones	g/año	2,63E+12	2,61E+09	6,86E+21
33	Papel y derivados	J/año	1,29E+16	1,30E+06	1,68E+22
34	Servicios y Otras transacciones Económicas	\$	5,86E+10	1,37E+12	8,03E+22
Exportaciones y Recursos hacia Otros países					
35	Pecuarios y sus productos	J/año	1,53E+15	2,00E+05	3,05E+20
36	Productos agrícolas	J/año	5,06E+16	1,40E+05	7,08E+21
37	Productos Agroindustriales	J/año	8,14E+15	2,00E+05	1,63E+21
38	Productos Minerales	g/año	7,84E+13	1,68E+09	1,32E+23
39	Petróleo y sus derivados	J/año	1,84E+18	6,00E+04	1,11E+23
40	Productos Químicos	g/año	7,70E+11	4,89E+09	3,77E+21
41	Plásticos y Cauchos	g/año	7,70E+11	4,69E+09	3,61E+21

Item	Unidad	Cantidad Neta	Transformidad (seJ/unidad)	Energía (seJ/año)	
42	Productos de Madera	J/año	1,47E+15	1,30E+06	1,91E+21
43	Papel y derivados	J/año	4,44E+15	1,30E+06	5,77E+21
44	Textiles	J/año	4,89E+14	1,30E+06	6,36E+20
45	Máquinas y equipamientos	J/año	2,40E+11	6,70E+09	1,61E+21
46	Acero y otras aleaciones	J/año	3,60E+11	2,61E+09	9,40E+20
47	Servicios y Otras transacciones Económicas	\$	6,07E+10	1,37E+12	8,31E+22
PIB Colombiano US\$/año			365.402.000.000,00		
Población Colombiana HAB			46.581.823		
Energía/Dinero (sej/Us\$)			7,24E+12		
Área Territorial Km ²			1,142E+12		

Fuente: El Autor (2012)

D. Anexo: Índices Emergéticos de Colombia

	Flujos en Conjunto de la Tabla Emergética	Flujo de Emergía	Unidades
R	Energía Renovable	1,82E+24	seJ/año
Nn	Perdía de Suelos local	5,18E+21	seJ/año
Nc	Forestales y leña locales	2,69E+23	seJ/año
Ne	Minerales y productos directamente exportados	3,53E+23	seJ/año
N	No renovables local	6,27E+23	seJ/año
FM	Energía Importada de Combustibles y Minerales	1,53E+22	seJ/año
G	Energía Importada de Productos	9,77E+22	seJ/año
SL _N	Energía Importada Servicios 94%	7,55E+22	seJ/año
SL _R	Energía Importada Servicios 6%	4,82E+21	seJ/año
F	Energía incorporada	1,93E+23	seJ/año
U	Energía Total	2,64E+24	seJ/año
Indicadores de desempeño			
U _{LS} /PIB	Energía/PIB	7,24E+12	seJ/\$
U _{LS} /P	Energía/hab	5,68E+16	sej/Persona
A	Área	1,14E+12	m ²
U _{LS} /A	Densidad Potencial	2,3E+12	sej/m ² /año
EYR	Índice de Producción de Emergía	13,68	
ELR	Índice de Carga Ambiental	0,4	
ESI	Índice de Sostenibilidad Ambiental	30,69	

Fuente: El Autor (2012)

E. Estimación de uso del suelo y zonas de vida de Palmira

Según datos del POT, el municipio de Palmira tiene un área de 1.162 Km² es decir 116.200 Ha de los cuales 1.934 Ha corresponden a la zona urbana. Acorde con este dato y con la información cartográfica del IGAC 2004, se estructuró el sistema Palmira según sus áreas de uso del suelo 5 subsistemas: Urbano, industrial, agropecuario, agrícola y agroforestal. Los pisos térmicos a los que corresponde cada uso del suelo se muestran en la siguiente tabla.

Piso Térmico	Altura msnm
Cálido	0 – 1000
Medio	1000 – 2000
Frio	2000 – 3000
Muy frio	3000 – 3600
Extremadamente frio	Mayor a 3600

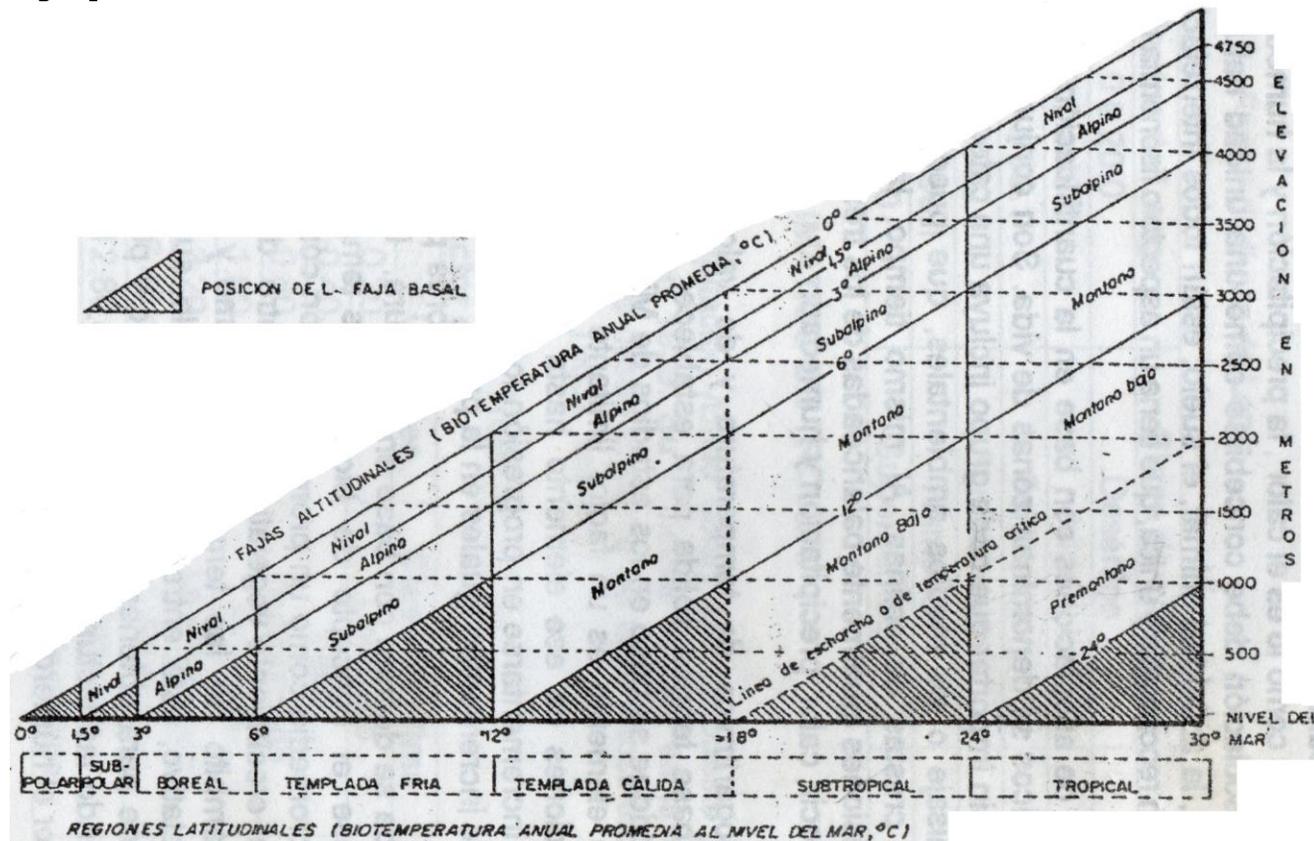
Fuente: El Autor (2012), adaptado de IGAC (2004)

F. Anexo. Tabla Uso del suelo en el municipio de Palmira

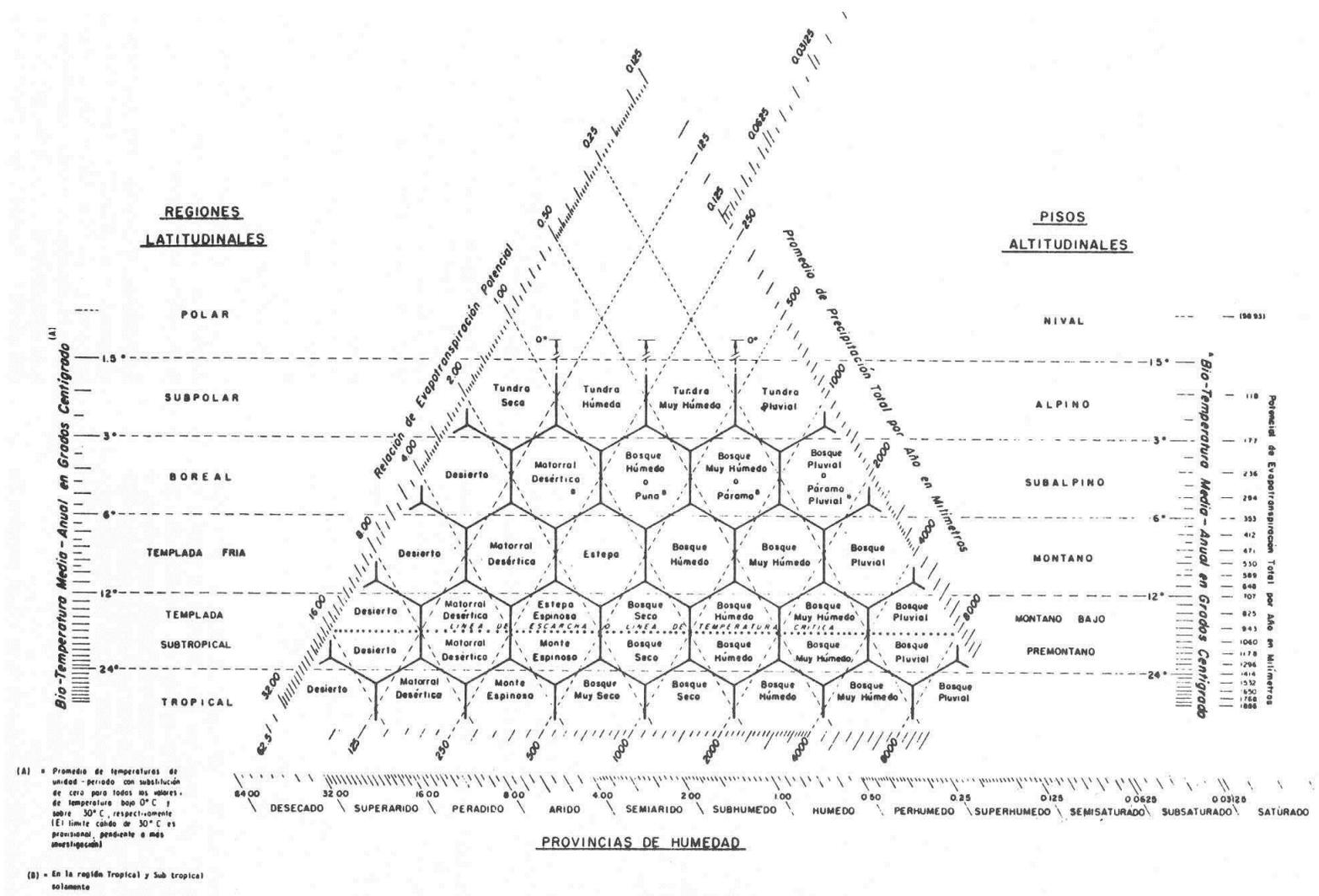
Clima	Símbolo	Unidad Cartográfica de uso de tierras	Ha
MEDIO	AHo4	Agricultura con cultivos de hortalizas (Tomate, Cebolla).	50
	Akp4	Agricultura con cultivos de caña de azúcar (panelera)	29
	Ap4	Agricultura con cultivos de Café	558
	Cd4	Conservación en tierras en descanso, barbecho.	1.689
	Fm4	Forestal de protección - producción, multipropósito, bosques naturales.	492
	Fp4	Forestal de producción, madera/pulpa, bosque Plantado	188
	Ge4	Ganadería, pastoreo extensivo vacuno	13.605
Frio	Zta4	Zoocriadero de aves	18
	AHo3	Agricultura con cultivos de hortalizas (repollo, arracacha, otras).	275
	Cd3	Conservación en tierras en descanso, barbecho.	566
	Fm3	Forestal de protección - producción, multipropósito, bosques naturales.	25.576
	Fp3	Forestal de producción, madera/pulpa, bosque natural	1.144
Muy Frio	Ge3	Ganadería, pastoreo extensivo vacuno	8.374
	Cd2	Conservación en tierras de descanso, (barbecho).	111
Extremadamente frío y subnival	Fm2	Forestal de protección - producción, multipropósito, bosques naturales.	7.485
	Ge2	Ganadería, pastoreo extensivo	1.153
Todos los pisos	Cp1	Conservación en Sistema de Parques Nacionales, parque nacional, reserva natural.	7.750
	Id	Obras civiles, recreacional - deportivo – turístico	28
Cálido	Lu	Obras civiles, conglomerado urbano	58
	Caña	Cultivo de caña de azúcar Zona Plana	40.943
	Otros	Cultivos de hortalizas zona plana (maíz, cilantro, aguacate, cítricos, frijol, lechuga, alverja, yuca, mango)	108
	Cultivos		
	Industria		4.066
	Urbano		1.934
Total			116.200

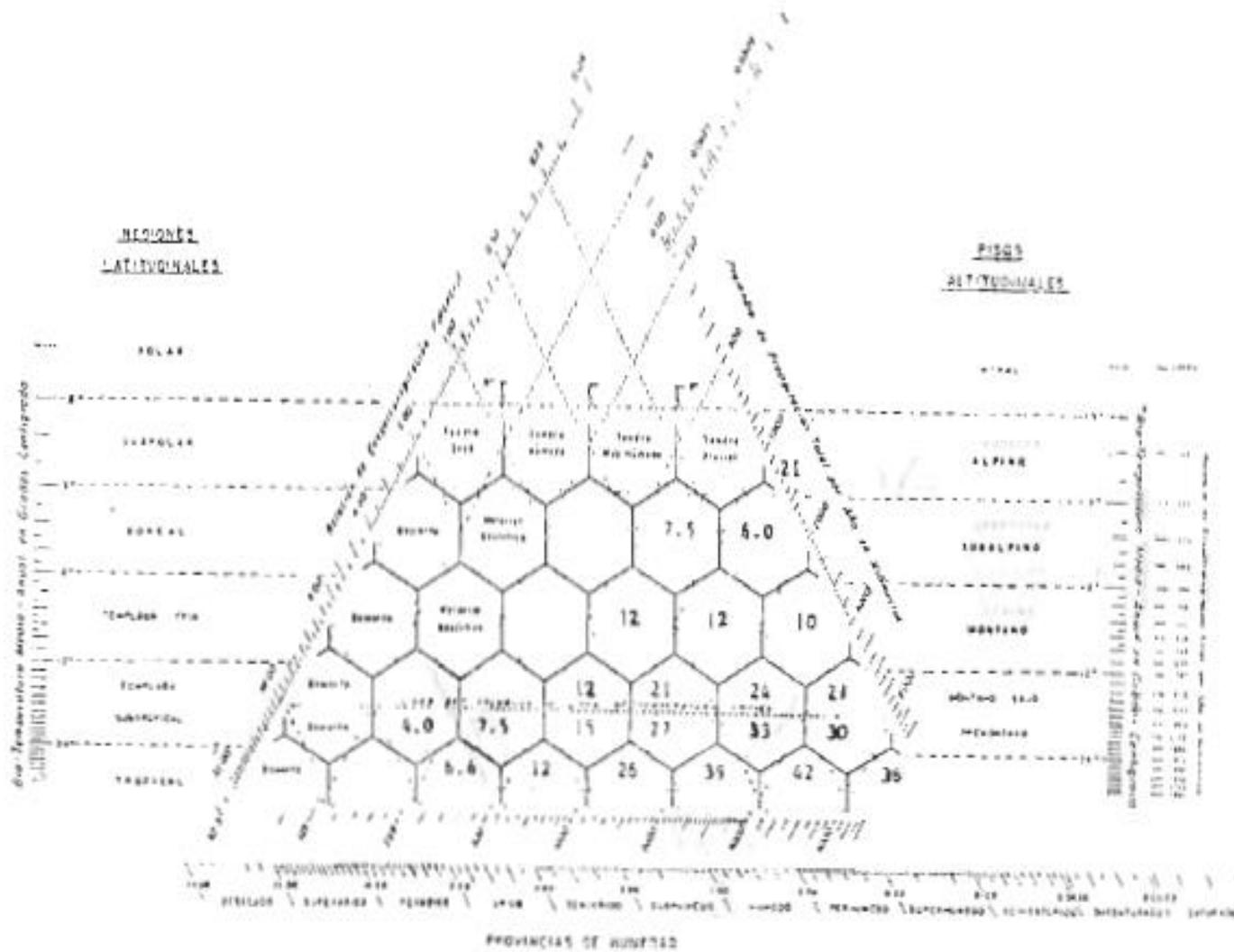
Fuente: El autor, Adaptado de IGAC 2004, Tabla 38 - Mapa Uso de las Tierras Hojas 280 y 300, Anuario Estadístico de Palmira 2012

G. Anexo: Nomogramas para estimación de zonas de vida y pérdida de suelos.



Posiciones aproximadas de las líneas guía de las regiones latitudinales y las fajas altitudinales del sistema mundial de zonas de vida de Holdridge (basado en una tasa de cambio de 6°C por cada 1000m).
Fuente: Holdridge, L., 1987.





Factor A. Pérdida anual de suelo aceptable en toneladas por hectárea

H. Anexo. Tabla estimación de pérdida de suelo por zona de vida.

Los resultados por zonas de vida muestran un total de A de 2130,62 g/m²/año. La siguiente tabla muestra la fracción por cada zona.

Zonas de vida	Nomenclatura	A (g/m ² /año)	Rango	m ²	FRACCION	A por zona de vida (g/m ² /año)
Bosque Pluvial montano	bp-M	1000	Bajo	74.050.000	7%	72,89
Bosque muy húmedo montano bajo	bmh-MB	2400	Medio	139.100.000	14%	328,63
Bosque húmedo montano bajo	bh-MB	2100	Medio	19.340.000	2%	39,98
Bosque seco premontano	bs-PM	1500	Bajo	264.690.000	26%	390,84
Bosque muy húmedo premontano	bmh-PM	3300	Alto	29.010.000	3%	94,24
Bosque húmedo premotano	bh-PM	2200	Medio	125.000.000	12%	270,71
Bosque seco tropical	bs-T	2600	Medio	364.660.000	36%	933,32
TOTAL		15.100		1.015.850.000		2.130,62

Fuente: El Autor, con base en Adaptado de León (2001); IGAC (2004).

León Peláez, Juan Diego (2001) Estudio y control de la erosión hídrica. Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

Bibliografía

1. Almeida, C. M.V.B; Flávio A. Barrella and Biagio F. Giannetti (2004). Graphical Tool for Emergy Analysis: Concepts and an Example of Application. Universidade Paulista. São Paulo, Brazil.
2. Álvarez, S. Lomas P. L., Martín B., Rodríguez M., Montes C. (2006). La Síntesis Emergética ("Emergy Synthesis"). Integrando energía, ecología y economía. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid España.
3. Anderies, J. M., Janssen, M. A. & Ostrom, E. (2004). A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society*, 9 (1): 18. [<http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18>].
4. Anuario Estadístico del Valle del Cauca (2010). Gobernación del Valle del Cauca.
5. Anuario Estadístico Municipio de Palmira (2012). Cámara de Comercio de Palmira. Fundación Progresamos. Municipio de Palmira.
6. Bakshi, R.B. (2002). A thermodynamic framework for ecologically conscious process systems engineering. *Computers & Chemical Engineering*, 26 (2): 269-282.
7. Bastianoni, S.; Campebell, D.E.; Riodolfi, R.; Pulselli, F.M (2009). The solar transformity of petroleum fuels. *Ecol. Model.*
8. Becht, G. (1974) Systems theory, the key to holism and reductionism. *Bioscience* 24(10).
9. Bertalanffy, L (1991). Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. México: Fondo de Cultura Económico.
10. Bifani, P. (1997). Medio Ambiente y Desarrollo. 3ª ed. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. México.
11. Brandt – Williams (2001). Handbook of emergy evaluation: Folio # 44; Center for Environmental Policy, University of Florida: Gainesville, FL, USA.
12. Brown, M.T. & Herendeen R.A. (1996). Embodied energy analysis and EMergy analysis: a comparative view. *Ecological Economics*, 19: 219-235.
13. Brown, M.T.; Ulgiati, S. (2004). Emergy analysis and environmental accounting. *Encyclopedia of Energy*.
14. Caicedo Ferrer, J.M (2003). Apuntes sobre Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial. Comisión de Ordenamiento Territorial. Bogotá.
15. Cengel Y.A., BOLES M.A (2009). Thermodynamics and Engineering Approach. 2ª edición. Editorial Mc Graw Hill. New York 1994. P 91 y sgts.
16. Coelo O. Ortega E. Comar V. (1996). Balanço Emergia Do Brasil. (Dados de 1996, 1989 e 1981). Brasil
17. Costanza, R (1997). La Economía Ecológica de la sostenibilidad. Invertir en capital natural. En Medio Ambiente y desarrollo sostenible. Más allá del informe Brundtland. Goodland, R., Daly, H., El Serafy, S y von Droste, B (Eds). Editorial Trotta. Serie Medio Ambiente.
18. Costanza, R, Cumberland, J., Daly, H., Goodland, R. & Norgaard, R. (1997a). An introduction to Ecological Economics. St. Lucie Press. Florida. USA.

19. Costanza, R. (1980). Embodied energy and economic valuation. *Science*.
20. CVC (2000). Proyecto de Modelación Rio Cauca. Elevación media de la Cuenca del Rio Amaime. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. <http://www.cvc.gov.co/cvc/Mosaic/dpdf1/volumen4/3-caracteristicasgrtv4f1.pdf>
21. Daly, H.E. (1991). *Ecological Economics and Sustainable Development: from Concept to Policy*. The World Bank.
22. DANE (2005). *Proyecciones de población Censo General*. Colombia
23. Diemont S., Martin J., Levy S. (2006). Emergy evaluation of Lacandon Maya indigenous swidden agroforestry in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 66. pp. 23-42
24. Duvigneaud, P. (1983). *La síntesis de la ecología*. Edit. Alambra. Madrid. P 306.
25. Ekins, P., Simon, S., Deutch, L., Folke, C., De Groot, R., 2003. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Ecol. Econ.* 44, 165–185.
26. Fernandez Pereira, C. L (2008). *Avaliação da Sustentabilidade Ampliada de Produtos Agroindustriais. Estudo de caso: Suco de Laranja e Etanol*. Universidade Estadual de Campinas. Brasil.
27. García, H.L (2003). *Teoría del Desarrollo Sostenible y Legislación Ambiental Colombiana, una Reflexión Cultural*. Revista de Derecho, Universidad Del Norte, Barranquilla, Colombia.
28. Goldemberg, J; Coelho, ST; Nastari, PM; Lucon O (2003) "Ethanol learning curve- the Brazilian experience", *Biomass and Bioenergy*.
29. Haré, V. C. (1967) *Systems analysis: a diagnostic approach*. New York, Harcourt, Brace and World.
30. Hart, D. R. (1985). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 159p.
31. Hau, J.L. & Bakshi, B.R. (2003). *Expanding Exergy Analysis to include ecological products and services*. Technical Report. The Ohio State University. USA. [URL:<http://www.che.eng.ohio-state.edu/~bakshi/ecec.pdf>].
32. Herendeen, R.A. (2004). Energy analysis and EMERGY analysis- a comparison. *Ecological Modelling*, 178 (1): 227-237
33. Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. IICA. 216p.
34. Ibargüen, J.L (2012). *Caracterización Energética en la Siderúrgica SIDOC*. Colciencias – UNAL. Palmira, Valle del Cauca, Colombia.
35. IGAC; CVC; MAVDT (2004). *Levantamiento de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Valle del Cauca*. Bogotá D.C
36. Lan, S.F.; Odum, H.T. (2004) Emergy evaluation of the environment and economy of Hong Kong. *J. Environ. Sci.*, 6, 432–439.
37. León Peláez, J. D. (2001) *Estudio y control de la erosión hídrica*. Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
38. Lotka, A.J. (1922a). Contributions to the energetics of evolution. *Proceedings of the National Academy Sciences of USA*, 8 (6): 147-151.
39. Lotka, A.J. (1922b). Natural selection as a physical principle. *Proceedings of the National Academy Sciences of USA*, 8 (6): 151-154.
40. Márquez, R. A. (2000). *Sostenible y Sustentable*. Diario El Nacional. Caracas Venezuela. Disponible en: <http://www.analitica.com/bitblo/amarquez/sostenible.asp>
41. MAVDT 2003. *Metodologías para la valoración económica de bienes, servicios ambientales y recursos naturales*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

42. MAVDT 2008. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política de Gestión ambiental Urbana. Bogotá, D.C. Colombia.
43. MAVDT 2009. Plan decenal Ambiental. Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
44. Montealegre, F.A. (1998). Curso Básico de Meteorología y Climatología. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira, Segunda Edición.
45. Moreno, L. A. (2011). Presentación Plataforma Ciudades Emergentes Sostenibles. Cámara de Comercio de Calgary. Canadá Marzo 25 de 2011.
46. Odum, E. P. (1983). Ecología Interamericana. México.p. 639.
47. Odum, E. P; Warrent G. W. (2006). Fundamentos de Ecología. 5ta Edición. México.p. 598.
48. Odum, H. T(1994). Ecological and general systems: An introduction to systems ecology. Colorado University.
49. Odum, H. T (1995). Self-Organization and Maximum Empower. Colorado University Press.
50. Odum, H. T (1996). Environmental accounting, emergy and decision making: Emergy evaluation. University of Florida.
51. Odum, H. T; Brown, M.T; Brandt – Williams, S.B (2000). Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation in a Series of Folios, Folio # 1; Center for Enviromental Policy, University of Florida: Gainesville, FL, USA.
52. Odum, H.T , Odum, E.C. & Brown, M.T. (1998). Environment and Society in Florida. Lewis Publishers.
53. Odum, H.T.; Diamond, C.; Brown, M.T. (1987) Emergy analysis and public policy in texas, policy research project report. Ecol. Econ., 12, 54–65.
54. ONU (2001). Indicadores de Desarrollo Sostenible Marco y Metodologías. División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Nueva York 2011.
55. ONU (2011). Informe sobre población. Organización de las Naciones Unidas - Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Nueva York 2011.
56. POT – (2001). Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio de Palmira.
57. PRENSA. Diario El País de Cali, 14 de Abril de 2013. ¿Por qué Cali es el nuevo blanco de la inversión extranjera en el Pacífico colombiano?
58. Rizo, G. (1993). Sistemas ecológicos y medio ambiente. Unisur, Bogotá.1993. P. 458.
59. Robertson, R. (2003). «Glocalización: tiempo-espacio y homogeneidad-heterogeneidad». Cansancio del Leviatán : problemas políticos de la mundialización.
60. Rodríguez, J.(2005). Propuesta metodológica para realizar balances de masa y energía en una región agroecológica. Tesis de Maestría. Universidad del Valle Cali.
61. Romitelli, M.S. (2000). Emergy analysis of the New Bolivia – Brazil Aas pipeline; In Emergy Sinthesis:Theory and Applications of the Emergy Methodology; Brown, M.T., Ed.; Center for Enviromental Policy, University of Florida: Gainesville, FL, USA.
62. Sciubba, E. (2001). Beyond thermoecconomics? The concept of Extended Exergy Accounting and its application to the analysis and desing of thermal systems. Exergy, an international journal, 1(2).
63. Tosi (1972). Una Clasificación y Metodología para la determinación y levantamiento de mapas de la capacidad y uso mayor de la tierra. San José de Costa Rica: Centro Científico Tropical.

64. Ulgiati S. et. Ál (2007). Environment and Complexity of the Urban System of Rome (Italy): An Emergy Synthesis Theory and Applications of the Emergy Methodology. Proceedings from the Fourth Biennial Emergy Conference, Gainesville, Florida.
65. Ulgiati, S.; Odum, H.T.; Bastianoni, S. Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy. *Ecol. Model.* 1994, 73, 215–268.
66. UN. 1992. Rio Declaration on Environment and Development. United Nations Publication.
67. UNESCO – PNUMA. Programa Internacional de Educación Ambiental. La Energía como tema interdisciplinar en la educación ambiental. Editado, Libros de la Catarata 1996.
68. UPME (2010). Unidad de Planeación Minero Energética. Energías Renovables: Descripción, Tecnologías y usos finales. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá – Colombia.
69. UPME-IDEAM (2005). Atlas de Radiación Solar de Colombia. Bogotá, D.C. Colombia.
70. Valero, S. P. 2010. Termodinámica, Pensamiento social y Biopolítica en la España de la Restauración. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/unih/n69/n69a03.pdf>
71. Vega, L. 2005. Hacia la sostenibilidad ambiental del desarrollo. Construcción de pensamiento ambiental práctico a través de una política y gestión ambiental sistémica. Ecoe ediciones.
72. World Commission on Environment and Development-WCED (1987). Our Common Future, Oxford: Oxford University Press.
73. WETO. World energy, technology and climate policy outlook 2030. Office for Official Publications of the European Communities, 2003.
74. Wischmeier, W.H.; SMITH, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. Washington: USDA
75. Young, Robert M. 1985. Darwin's Metaphor: Nature's Place in Victorian Culture. Cambridge, Cambridge University Press.
76. Zhang, W. (2008). A forecast analysis on world population and urbanization process. Environmental Development Sustain.

Documentos Electrónicos:

Julio de 2013:

http://www.ciudadessostenibles.findeter.gov.co/publicaciones/parametros_de_seleccion_pub

Marzo de 2013.

http://www.aenor.es/aenor/certificacion/mambiente/mab_verificacion_gei.asp

<http://www.iadb.org/es/temas/ciudades/ciudades-emergentes-y-sostenibles,2862.html>

http://www.cocme.org/ac/images/stories/mesa_u/11-%20lap.pdf

http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cartagena_-_sep_07asocana_v2.pdf

<http://www.asocana.org/documentos/2452011-6ab62dfe-00ff00,000a000,878787,c3c3c3,0f0f0f,b4b4b4,ff00ff,2d2d2d,b9b9b9.xls>

www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Balance.aspx?IdModulo=3

www.upme.gov.co/Docs/Mercado_Carbon.pdf

www.indexmundi.com/map/?v=137000&l=es

<http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg/97-boletines/comunicados-y-boletines/2738-estadisticas-de-cemento-gris>

<http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS>

<http://www.dane.gov.co/index.php/comercio-exterior/exportaciones/97-boletines/comunicados-y-boletines/4464-exportaciones>