



Universidad de la República

Facultad de Ingeniería

Tesis Maestría de Ingeniería de la Energía

Título: METABOLISMO URBANO

Autor: Rodrigo Barcia Fuentes

Tutor: Dr. José Cataldo

Montevideo, Uruguay

Año 2018

INDICE

CAPÍTULO 1	3
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2. FUNDAMENTACIÓN	6
1.2.1. URBANIZACIÓN.....	9
1.2.2. FLUJO DE MATERIALES	10
1.2.3. FLUJOS DE ENERGÍA.....	12
1.2.4. DESARROLLO SOSTENIBLE	20
1.2.4.1. INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD	22
1.2.4.2. SEGUIMIENTO DE LA SOSTENIBILIDAD	28
CAPÍTULO 2	33
2.1. MÉTODOS PARA EL CONTEO DE FLUJO DE MATERIALES	33
2.2. ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS	43
CAPÍTULO 3	47
3.1. MÉTODO PARA EL CONTEO DE FLUJO DE ENERGÍA	47
3.2. CONVERSIÓN DE ENERGÍA Y CONTABILIZACIÓN DE FLUJOS ENERGÉTICOS.....	50
CAPÍTULO 4	54
4.1. METODOLOGÍA.....	54
CAPÍTULO 5	59
5.1. APLICABILIDAD DE LA HERRAMIENTA METABOLISMO URBANO EN EL URUGUAY.....	59
5.2. SEGUIMIENTO DE LA SOSTENIBILIDAD	68
5.3. ESTUDIO DE SENSIBILIDAD Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	72
6. CONCLUSIONES.....	84
ANEXO I.....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	94

CAPÍTULO 1

1.1.JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de la población mundial y su consecuente urbanización han dado como resultado la construcción de ciudades de diversos tamaños y formas. Naciones Unidas llama megaciudades a aquellas cuya población es mayor a 10 millones de habitantes, y son éstas las que se enfrentan a los desafíos más importantes en lo que respecta a la búsqueda de soluciones para los problemas ambientales y energéticos producidos por su propio desarrollo. En los países más desarrollados los mencionados problemas parecen estar más solucionados, en los países en desarrollo, sin embargo, el rápido crecimiento de ciudades ha traído aparejado cortes en servicios sociales básicos, falta de infraestructura y contaminación de agua y aire (Decker, 2000). Al menos una décima parte de la población mundial vive y trabaja en estas ciudades, por lo que alcanzar el desarrollo humano y económico que estas metrópolis necesitan significa enfrentar y superar innumerables retos.

En la figura 1 se muestra un gráfico en el que se ve la evolución de la proporción de población urbana y rural en el mundo, desde el año 1960 al 2013.

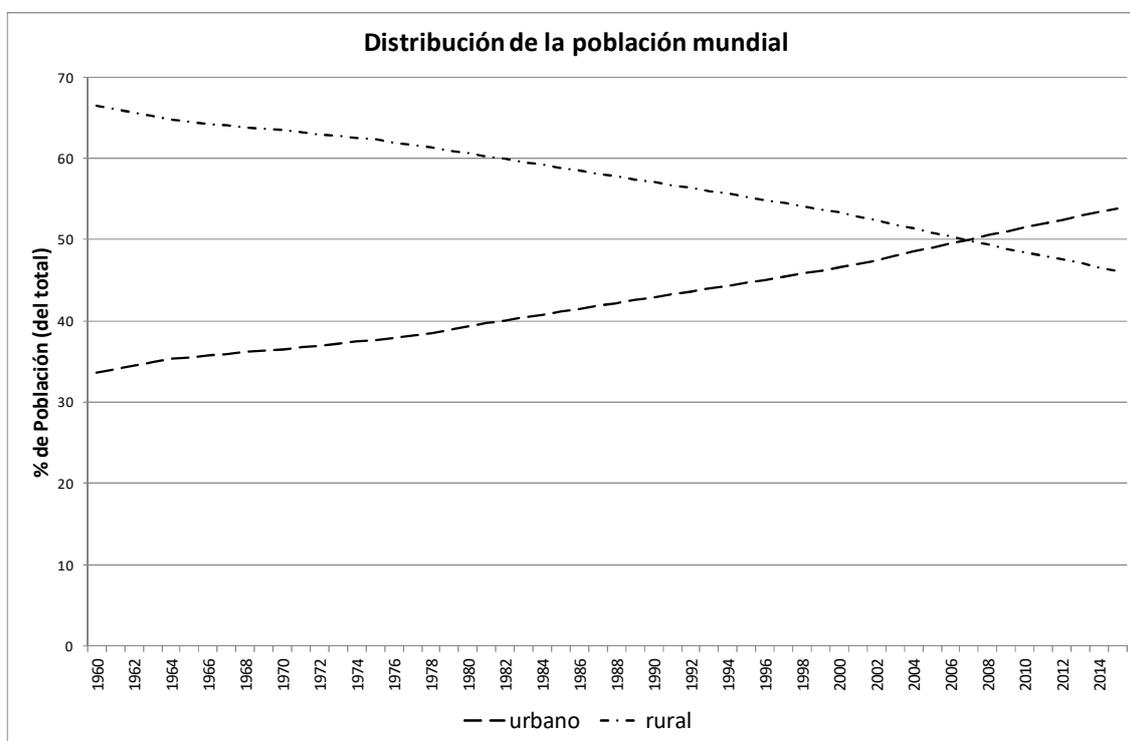


Figura 1: Fuente: www.bancomundial.org

De su observación se desprende que la proporción de población rural viene en descenso, a partir del año 2008, pasando a ser menor que la proporción de población urbana. En el año 2014 la población urbana ascendió a 53,4%.

América Latina y el Caribe tienen una de las más altas tasas de urbanización del planeta, en el año 2011 fue del 80% y se espera, según indican las proyecciones, que esta proporción aumente hasta cerca del 90% hacia el año 2050 (ONU HABITAT, 2012).

En Uruguay, el proceso de urbanización comenzó tempranamente, en el año 1860 el 45% de la población vivía en zonas urbanas. En el siglo 20 la proporción de población urbana continuó en aumento, siendo de 63% en 1930, 73% en 1950 y 81% en 1963¹ (Damonte, 2000). Según el último censo realizado en el 2011, el 95% de la población uruguaya reside en zonas urbanas y, de acuerdo con estimaciones del INE, para el año 2025 la población urbana será del 95,6% (INE, 2011).

De acuerdo a los parámetros establecidos para el caso del censo 2011, los conceptos de zona urbana y rural corresponden a una definición de ordenamiento territorial, en donde la zona urbana es una zona amanzanada, mientras que la zona rural está definida por límites naturales como cursos de agua, carreteras o caminos vecinales (INE, 2011).

Dentro de la ley 18.308 que establece el marco regulador para el ordenamiento territorial y medio ambiente, se define el suelo urbano, suburbano y rural. Por un lado, el suelo urbano es definido como el territorio de los centros poblados, fraccionados, con infraestructura y servicios.

Dentro de la categoría de suelo urbano se identifican: 1. El suelo urbano consolidado: es aquel con redes de agua potable, drenaje de aguas pluviales, red vial pavimentada, evacuación de aguas servidas, energía eléctrica y alumbrado público. 2. El no consolidado: cuando existen un mínimo de redes de infraestructura, pero las mismas no son suficientes para dar el servicio previsto.

En segundo lugar, se define el suelo suburbano, el cual está constituido por enclaves con usos, actividades e instalaciones del tipo urbano dispersos en el territorio o contiguos a centros poblados, como por ejemplo las instalaciones turísticas, deportivas, industriales, de logística o similares.

Por último, se categoriza al suelo rural, en rural productivo y rural natural. El primero es aquel territorio cuyo destino principal sea la actividad agrícola, pecuaria, forestal o extractiva. El territorio rural natural comprende las áreas de territorio protegido con el fin de mantener la biodiversidad, el paisaje u otros

¹ Los porcentajes no son estrictamente comparables por la falta de definición del concepto población urbana y rural a comienzos de siglo XX (Instituto Nacional de Estadísticas).

valores patrimoniales, ambientales o espaciales. Podrá comprender lagunas, lagos, embalses, etc. Los suelos rurales quedarán excluidos por definición de todo proceso de urbanización (ley 18.308).

Mientras que estos procesos de urbanización en países desarrollados han sido bien resueltos con el paso del tiempo, en los países en desarrollo han llevado a grandes problemáticas como los son cortes de servicios públicos básicos, falta de infraestructura, contaminación del aire y del agua.

A medida que las ciudades crecen, también lo hacen los consumos de energía y materiales. Esto es producto de la actividad socioeconómica de los humanos como son la producción de comida, bienes, servicios y la transferencia de energía que dichas actividades requieren.

En el año 1965 en los Estados Unidos, y como respuesta a la preocupación de la calidad del aire y del agua, Albert Wolman fue el pionero en definir el término *metabolismo urbano*. Wolman definió los requerimientos metabólicos de una ciudad como los materiales y bienes necesarios para sustentar sus habitantes en el hogar, el trabajo y tiempo de ocio (Wolman, 1965). Agregó que este metabolismo se completa cuando los residuos y desperdicios de la vida diaria son enviados a disposición final. El metabolismo completo de una ciudad moderna sería imposible de describir, sin embargo, muchas de las entradas metabólicas están perfectamente definidas: comida, combustible, bienes durables y energía eléctrica, entre otros. Su abastecimiento es manejado muchas veces por iniciativas personales como también por organizaciones públicas y privadas (Wolman, 1965).

Wolman describió el metabolismo de una ciudad norteamericana hipotética, en la que vivían un millón de habitantes, cuantificando los flujos de energía, agua, materiales y desechos que entraban y salían en la región urbana. El autor argumentó que las ciudades necesitan entradas de energía y materiales y a su vez, producen desechos y emisiones, por lo que estos procesos metabólicos son los causantes de los problemas ambientales. En particular su preocupación se concentra en tres problemas: un adecuado abastecimiento de agua, una efectiva disposición de los efluentes cloacales y el control de la contaminación del aire.

El objetivo de describir el metabolismo de esa ciudad hipotética es tomarlo como patrón para la comparación con la realidad. Esto permite sacar conclusiones acerca de ineficiencias en los procesos y apoyar en la toma de decisiones en medidas mitigatorias para las problemáticas abordadas.

El metabolismo de un ecosistema es definido por la Ecología, como la producción y el consumo de materia orgánica, mediante fotosíntesis, a través de la respiración, definición que es abordada desde el punto de vista energético en Odum, 1971. En un amplio contexto, el metabolismo urbano puede ser

definido como la suma total de procesos tales como los energéticos, constructivos y socioeconómicos; que ocurren en una ciudad y que generan crecimiento, producción de energía y eliminación de desechos (Kennedy, 2007).

La metodología de metabolismo urbano permite identificar procesos metabólicos que amenacen la sostenibilidad de las ciudades, como pueden ser niveles de acuíferos subterráneos, agotamiento de materiales, acumulación de contaminantes y/o nutrientes, procesos energéticamente ineficientes. También permite la comprensión del patrón de cambio en el tiempo del metabolismo energético de una ciudad.

Los resultados que se pueden obtener de la práctica de esta técnica son:

1. Los parámetros de metabolismo: otorgan medidas de la magnitud de explotación de recursos y generación de residuos para ser usados en indicadores de sostenibilidad.
2. Permiten establecer el valor de inventarios y flujos a través de las ciudades, proporcionando un contexto para entender procesos críticos como el descenso de un recurso o la acumulación de un desecho.
3. Pueden aportar información para la creación de políticas urbanas, como para saber en qué medida se están explotando los recursos y cuáles de ellos pueden estar cerca del límite de agotamiento.

1.2. FUNDAMENTACIÓN

Previo al concepto de Wolman en 1965 de metabolismo urbano, existieron corrientes de la ecología que describieron a la “ecología de las ciudades” como la relación entre las ciudades y el abastecimiento de recursos desde la zona de influencia urbana. El metabolismo urbano, a su vez ha sido denominado de diferentes formas como “metabolismo energético”, “metabolismo socioeconómico”, “metabolismo social”, o “metabolismo de una sociedad”. Todos los nombres dan idea de lo multidisciplinario de la temática, en donde participan ecólogos, sociólogos, antropólogos, arquitectos, economistas, e ingenieros.

Es interés de este trabajo, desarrollar el aspecto energético vinculando con los aspectos sociales que tiene la energía, en el marco de la maestría de Ingeniería de la Energía, y realizar una aplicación de la técnica tomando como unidad de estudio Uruguay.

El enfoque del metabolismo energético o urbano de las sociedades, en un contexto de desarrollo sostenible, debe incluir tanto el flujo de materiales como

de energéticos. Si bien el objetivo de este trabajo es hacer hincapié sobre los aspectos energéticos, es necesario realizar el desarrollo de ambos temas ya que, en primer lugar, están interrelacionados y, además, son necesarios para la comprensión holística de la temática. Es indudable, además, que el flujo continuo de materiales a través de una sociedad, se da gracias a un flujo energético a través del cual se realiza el transporte y los procesos de generación y/o transformación de materiales. Algunas de estas interdependencias son, por ejemplo, que una parte de los flujos de materiales son utilizados para mantener las reservas de materiales de la sociedad; como pueden ser las construcciones y las maquinarias, etc. También existen materiales ricos en energía, los cuales son usados para la producción de energía. Este es el caso, por ejemplo, de los elementos radioactivos como el uranio, de los cuales a través de la energía liberada en reacciones nucleares se puede obtener energía eléctrica. Por otro lado, la energía puede ser utilizada para aumentar la disponibilidad de materiales. En el caso de los materiales energéticos, se puede citar como ejemplo la explotación minera para la obtención de carbón; o la energía utilizada en agricultura para la producción de un cultivo energético; o también la utilización de la energía de los desechos. La energía también puede ser utilizada para aumentar la eficiencia en el uso de materiales, como lo es el reciclaje. Asimismo, a la hora de considerar emprendimientos industriales y su relación con la ciudad, el ordenamiento territorial actual en Uruguay no permite que se ubiquen en tramados urbanizados, sino en las afueras de las ciudades, como lo es el suelo suburbano tal como lo define la ley nacional 18.308.

Los flujos de materiales tienen mucha importancia en el desarrollo de las ciudades. Un ejemplo de ello es el agua, el cual juega un papel fundamental en el desarrollo de humanos, animales, vegetales, salud pública, etc. El aumento de la urbanización requiere aumento de flujos de agua y eso demandará abastecimiento de la misma, como así también gestión del agua utilizada (Decker, 2000).

Muchos de los trabajos en metabolismo urbano, ignoran los flujos energéticos (Haberl, 2001). De aquí también la relevancia del enfoque de este trabajo sobre los aspectos energéticos como objeto de estudio. El autor argumenta que una de las razones de que los trabajos se enfoquen principalmente en el flujo de materiales, es debido a que los flujos de energía se consideran ya estudiados por parte de los gobiernos a través de las estadísticas energéticas, como balances nacionales de energía. El *Conteo de Flujo de Materiales* (del inglés MFA), es una de las metodologías que se utilizan para la medición de los flujos de materiales, la cual ha ido ganando terreno como herramienta oficial a utilizar por parte de las estadísticas gubernamentales de los países.

En los últimos 100 años la población ha aumentado cuatro veces, mientras que los el uso de materiales y energía ha aumentado diez veces, sin embargo las

inequidades en el consumo per cápita de energía y materiales en el mundo siguen existiendo. El 10% de la población que más consume utiliza el 40% de la energía y el 27% de los materiales; y el 10% más rico de todo el mundo representa el 39% del PBI mundial. Desde la mitad de los años noventa, surge el interés por parte de gobiernos, organismos internacionales y la comunidad científica de reducir el consumo de materiales y energía, como parte de las ciudades sostenibles, ciudades de menor huella de carbono, etc. (Weisz, 2010). He aquí también la importancia de los flujos de materiales y energía de las ciudades, como directrices de la toma de decisiones tanto en la sostenibilidad como así también en la equidad de la población.

La metodología de estudio de metabolismo urbano es utilizada como herramienta para la contribución en el desarrollo sostenible. En este sentido, como la Tierra se considera un sistema materialmente cerrado y en lo que respecta a flujos de energía es un sistema abierto, se ha priorizado la disponibilidad de materiales, sobre la de energía, por entenderse que juega un papel más importante en lo que tiene que ver con la amenaza de la sostenibilidad. Este hecho es muy discutible, ya que sin ir más lejos se tienen varios ejemplos en los cuales el acceso a la energía es un factor que pone en riesgo la sostenibilidad socioeconómica de muchos procesos. Lo anterior se puede ejemplificar a una escala menor y los recortes de un energético a la sociedad por escasez del mismo puede tener consecuencias. En el caso de Uruguay, por ejemplo, la hidraulicidad puede ser un factor importante. En años secos la electricidad de origen térmico genera la compra de combustibles para dicho fin, afectando claramente el costo de la matriz de generación de electricidad. Por el contrario, en años con alta hidraulicidad y por lo tanto mayor participación de energía renovable en la matriz de generación eléctrica, los costos en generación se reducen.

Como punto de partida, en física se define a la energía, como la capacidad de un cuerpo de realizar trabajo. El primer principio de la termodinámica enuncia la conservación de la energía, es decir que la energía no es creada ni destruida, solo es transformada. Albert Einstein establece una relación entre energía y materia, en donde la energía de un cuerpo, es igual a su masa multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado.

También hay muchos aportes a la definición de energía desde el área de la economía. La producción de bienes y servicios, dentro de la actividad económica, tiene por objeto la satisfacción de necesidades humanas como la alimentación, vivienda, traslado, esparcimiento, etc. La energía a través de sus diferentes formas con la participación de equipos genera satisfacción de necesidades. En consecuencia así como la actividad económica tiene como objetivo la satisfacción de necesidades, la actividad energética tiene también como objeto la satisfacción de necesidades, como lo es la alimentación, la iluminación, la adecuación de la temperatura ambiente, el traslado, la higiene,

etc. Es por eso que la energía es considerada como un bien económico. A su vez los bienes económicos pueden ser libres o limitados. Los bienes libres son aquellos cuyo acceso no es excluible y están disponibles en cantidades abundantes, ejemplo de ello es el aire. Los bienes limitados o escasos existen en cantidades limitadas y su concesión se realiza a través de un procedimiento, mercado, reparto y están sujetos a un precio; tal como lo es la energía (Chevallier, 1986) (Fundación Bariloche, 2014). Ahora bien, existe la discusión si como bien económico, no se considera como uno más, sino como bien estratégico.

Se deberá entonces definir, de forma de conceptualizar la temática, el concepto de “urbanización” y los métodos mediante los cuales se medirán los flujos de materiales y de energía. Asimismo, también se hace necesario desarrollar el concepto de desarrollo sostenible.

1.2.1. URBANIZACIÓN

Cualquier estudio de metabolismo urbano comienza con el análisis de entradas y salidas de un determinado volumen de control, llamado urbanización o sociedad.

Debido a la multidisciplinariedad del tema, es aquí donde entran definiciones de sociedad de distintas ciencias. La sociología, define la sociedad como una entidad simbólica, desprovista de aspectos materiales (Luhmann, 1984). La ecología, define a la sociedad como los humanos en sí mismos, por lo que el metabolismo urbano está dado por la suma de los metabolismos individuales (Haberl, 2001). En un sentido más amplio dentro de la definición de urbanización, se incluyen los objetos físicos, que los antropólogos denominan “artefactos”. Estos son por ejemplo, construcciones, máquinas y herramientas. En segundo lugar, otra categoría que se incluye son los animales que son mantenidos por los humanos, como son los animales domésticos y el ganado. Estos animales son usados para trabajos a tracción a sangre y como fuente de comida y otros materiales, por ejemplo cuero.

Estas definiciones restringen el enfoque de la metodología, por lo cual desde un punto de vista pragmático para la metodología es que será necesario definir límites biofísicos a través de los cuales sea identificables las entradas y salidas mencionadas. Entonces, una sociedad o urbanización podrá ser representada por estas estructuras biofísicas. Un ejemplo de esta estructura biofísica es una ciudad, cuyos límites geográficos son los delimitantes del volumen de control o caja negra, a través de la cual se darán los intercambios de materiales y energía desde el exterior a la urbanización, que darán como resultado la generación interna de stocks y a su vez expulsiones hacia el medio ambiente exterior (Haberl, 2001).

Una vez definidas estas barreras de las entidades socioeconómicas, es que se podrán definir relaciones entre entidades, las cuales pueden representar, por ejemplo, el intercambio entre países.

1.2.2. FLUJO DE MATERIALES

Como metodología general de conteo de flujo de materiales (del inglés MFA, “*Material flow accounting*”), existen dos enfoques más usados:

1. El primero se basa en la definición de límites entre unidades a ser estudiadas; se contabiliza cualquier flujo entrante o saliente como las toneladas del material que cruza el límite (Schandl, 1999). Este enfoque se utiliza para la formulación de políticas dirigidas a una reestructuración desde el punto de vista ecológico de la economía.
2. El segundo considera la cantidad de material utilizado en la producción de bienes y servicios consumidos por la población de una región (Schmidt-Bleek, 1994). Esta perspectiva es preferible en la articulación de políticas enfocadas en cambios en los patrones de consumo.

La figura 2 resume las consideraciones a tener en cuenta en el MFA a nivel nacional.

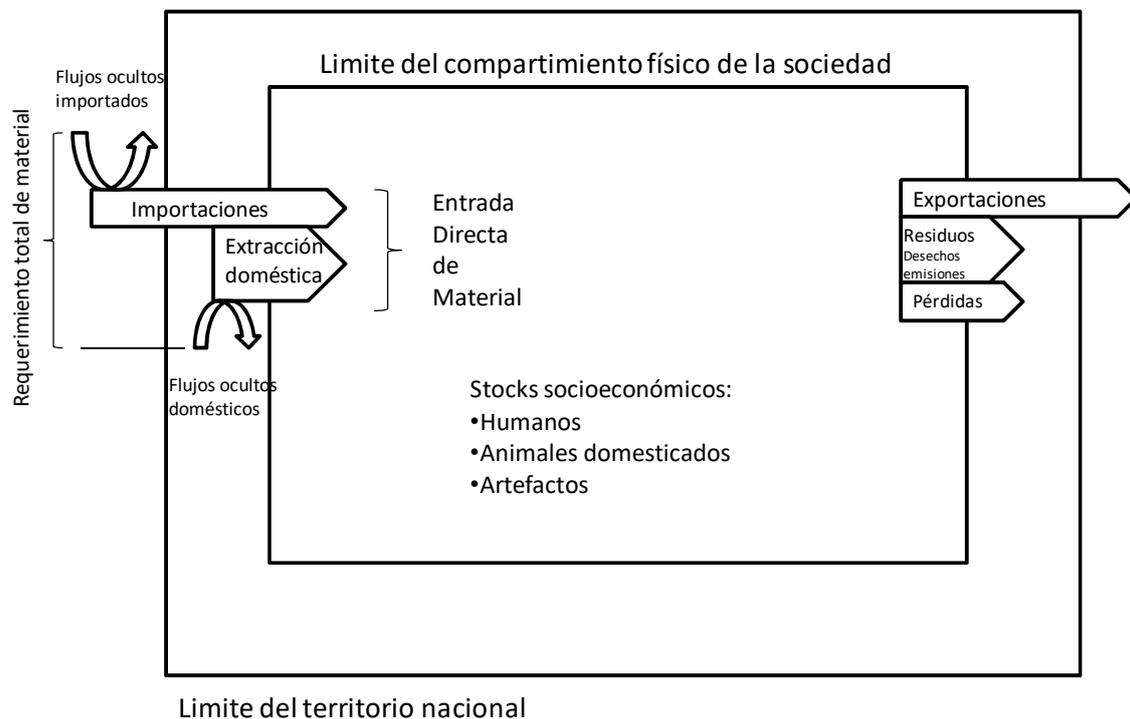


Figura 2: Esquema flujo de materiales nacional
Fuente: Haberl, 2001

La Entrada Directa de Material, refiere a materiales entrando en la economía de la sociedad, siendo usados para producir y mantener los tres niveles de

reservas de la misma: humanos, animales domésticos y artefactos. Se mide como la masa que atraviesa la frontera.

En cuanto a las categorías que conforman las reservas del sistema socioeconómico en estudio hay variedad de puntos de vista. Este es el caso por ejemplo de las plantas. Si los cultivos producidos por la agricultura son considerados, el límite físico entre la sociedad y el ambiente se debe extender hasta el nivel de suelo en donde se da el intercambio de nutrientes. Y en la misma categoría tenemos las plantas naturales, como lo son los árboles. La mayoría de los análisis consideran las plantas producidas por la agricultura y forestación, las cuales entran a la economía (Fischer-Kowalski & Hüttler, 1998).

En segundo lugar se observa como entrada a nivel nacional, el Requerimiento Total de Material, el cual adiciona a la entrada directa de material, los flujos ocultos (domésticos como así también importados o utilizados en el exterior). Los flujos ocultos son materiales que son extraídos por procesos económicos pero no terminan siendo materia prima de procesos productivos o de consumo. En general no son utilizados en procesos posteriores de manufactura, no tienen valor económico y no entran en la economía de la sociedad (Bringezu, 2000). También, para el caso de los flujos ocultos domésticos, los mismos son denominados como extracción no utilizada (Eurostat, 2000). Como ejemplo se puede citar la tierra arada, los residuos de cosecha que son devueltos a la tierra, la roca movida en la actividad minera.

Como salidas del volumen de control, se identifican las exportaciones y los residuos, como lo pueden ser los desechos y emisiones gaseosas y líquidas.

Más adelante se detallarán metodologías específicas para el conteo de materiales.

Los sistemas socioeconómico se pueden considerar en distintos niveles. La referencia puede ser la antropósfera global, lo cual involucra a todos los humanos, sus interacciones entre los distintos medios y la economía global. También se puede estudiar desde un nivel nacional, uno regional como una ciudad (tal como hace referencia el nombre metabolismo urbano). Y por último también a nivel unitario, como un hogar un sector económico. A nivel nacional el sistema socioeconómico es analizado con información, la cual en muchas ocasiones es provista por instituciones públicas y privadas que tienen por objetivo la seguimiento de parámetros económicos o de otra índole. El metabolismo a nivel nacional interactúa con el resto del mundo. En lo que respecta a los estudios a nivel regional o urbano, la ventaja de acotar el volumen de control es justamente la coincidencia exacta de la información disponible represente el comportamiento entero de los límites biofísicos definidos. Por otro lado, en lo que respecta a la existencia de la información, si bien en muchas ocasiones puede estar bien definida, y en algunas

oportunidades la información estadística no es confiable, por lo que se hace necesario el uso de estimaciones o aproximaciones (Fischer-Kowalski & Hüttler, 1998).

A nivel urbano, es necesario un nivel de desegregación mayor de los flujos, lo cual será necesario realizar en el caso de que este sea el ámbito de estudio (Hinterberger, 2003).

Es claro que el volumen de control elegido para el análisis dependerá del objetivo del mismo. Asimismo también la mayoría de los estudios MFA realizados son a nivel nacional si se compara con los de alcance regional y local (urbanos).

1.2.3. FLUJOS DE ENERGÍA

Para la contabilización de los flujos energéticos, es necesario considerar los conceptos de los balances energéticos, ya que es de interés propio del análisis la conservación de la energía. En líneas generales estos análisis son realizados por entidades gubernamentales, en donde también se realizan estadísticas energéticas. Se verá primero las diferencias entre ambos conceptos, balances y estadísticas energéticas.

Los datos estadísticos energéticos, se refieren, por ejemplo, a los informes anuales de organismos internacionales como la IEA (*International Energy Agency, Key World Energy Statistics*) o la ONU (Organización de las Naciones Unidas, *Energy Statistics Yearbook*). Estos informes presentan datos recogidos de flujos de energía de un determinado sector energético o procesos de conversión, como por ejemplo matriz de generación de energía eléctrica. No necesariamente dan la información correcta de todo el flujo energético a través de una economía.

En contraste, los balances energéticos describen el flujo de energía comercial (a veces incluyen estimaciones de flujos no comerciales como por ejemplo el autoabastecimiento de leña) a través de la economía. Entiéndase como energía comercial, aquella que se le puede asignar un mercado, un racionamiento o reparto. En contraposición la energía no comercial, es aquella que no pasa por un mercado, o sea no hay una oferta y demanda desde el punto riguroso de la definición y la misma se da por apropiación y uso directo como energía primaria (Fundación Bariloche, 2014). La energía no comercial generalmente no está considerada en los balances energéticos. Un ejemplo es la recolección en la naturaleza de biomasa para la calefacción y cocción familiar.

También, los balances, contienen factores de conversión calculados a partir de los datos estadísticos, a partir de los cuales se asegura el primer principio de la

termodinámica, en donde se asegura la igualdad de la entrada y salida de energía

En la figura 3 se muestran los flujos energéticos que componen un balance energético nacional típico, cuya fuente fue el acuerdo de convenciones internacionales (IFIAS, 1974).

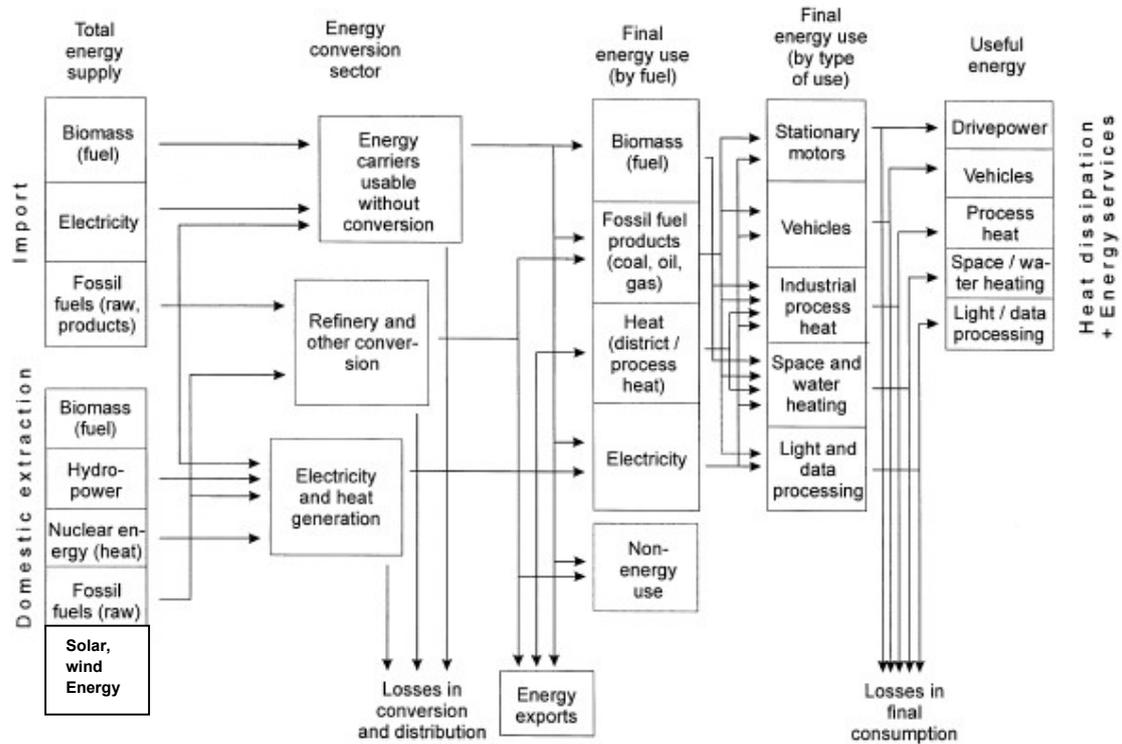


Figura 3: Flujos de energía en balances nacionales de energía.

Fuente: Haberl, 2001

Los principales componentes son:

- Suministro de energía primaria (del inglés "*Primary energy supply*"), es la energía suministrada en la forma en la que se encuentra en la naturaleza. Dentro de este grupo se encuentran la biomasa, los combustibles fósiles naturales, las energías renovables como la hidroeléctrica, eólica y solar, así como también la energía nuclear transformada en calor. Pero como muchas urbanizaciones importan gran parte de la energía, la cual en ocasiones ya ha sido transformada, se habla de Suministro Total de Energía, en lugar de Suministro de Energía Primaria. Por lo cual, en una definición más general, este grupo abarca los energéticos primarios extraídos domésticamente y los importados, los cuales pueden ser materiales sin procesar, como el petróleo o el carbón, o productos derivados de los energéticos primarios, como la gasolina, gas oil, o electricidad. El suministro total de energía, es el análogo a la entrada directa de materiales en MFA.

- Luego se tiene el sector de conversión de Energía ("*energy conversion sector*"), que es donde la energía primaria es transformada mediante procesos de conversión en energía final. Desde el punto de vista de la cadena energética, en estos centros de transformación, la energía primaria es convertida en secundaria, la cual es la energía cuyas características iniciales han sido modificadas para adaptarlas a los requerimientos de consumo. Los procesos más importantes son las usinas de generación de electricidad y calor, la refinación de petróleo y los procesos de conversión de carbón. La figura 4 muestra los principales procesos de conversión de energía.

Proceso de conversión de energía	Proceso tecnológico	Vector energético
Energía electromagnética → energía térmica	Colector termal solar	Energía solar
Energía electromagnética → energía eléctrica	Panel solar	Energía solar
Energía química → energía química	Refinería, procesos químicos	Combustibles fósiles
Energía química → energía térmica	Combustión (hornos, estufas)	Biomasa, combustibles fósiles
Energía nuclear → energía térmica	Fisión nuclear (plantas nucleares)	Fisión de uranio o plutonio
Energía térmica → energía térmica	Intercambiador de calor	Transferencia de calor o combustión.
Energía térmica → energía mecánica	Motor de combustión interna, motor Stirling	Calor proveniente de combustión de combustibles fósiles o biomasa, fisión nuclear
Energía mecánica → energía mecánica	Conversión de potencia eólica o hidráulica en energía rotacional.	Potencia hídrica o eólica. Transmisión de potencia a través de cualquier máquina.
Energía mecánica → energía eléctrica	Generador eléctrico	Potencia mecánica derivada de potencia eólica, hídrica etc., o energía mecánica de turbinas de vapor
Energía eléctrica → energía mecánica	Motor eléctrico	Electricidad
Energía eléctrica → energía térmica	Estufas eléctricas	Electricidad
Energía eléctrica → energía electromagnética	Radiación electromagnética, electroluminiscencia	Electricidad
Energía eléctrica → energía química	Electrólisis	Electricidad

Figura 4: Procesos de conversión de energía utilizados en balances energéticos.

Fuente: Haberl, 2001

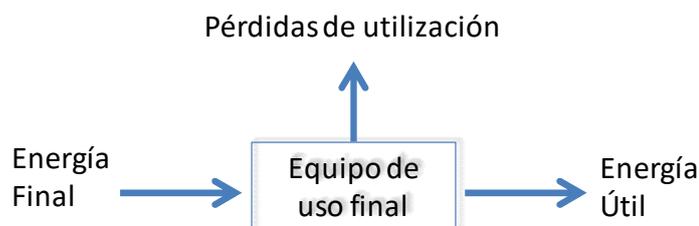
En muchas sociedades y principalmente en las industrializadas, los procesos de conversión de materiales ricos en energía en calor, la denominada combustión, son los más importantes. Es así que, con el poder calorífico de estos materiales, se puede hablar de flujos energéticos en lugar de flujos de materiales. Usualmente, la mayoría de los balances utilizan el poder calorífico inferior (que excluye el calor

latente contenido en el vapor de agua producido en la combustión) para convertir la masa de combustible utilizado en energía, debido a las tecnologías disponibles que no recuperan este calor.

Para el caso de Uruguay, los procesos de conversión más utilizados son: de energía química a energía química (refinación de petróleo); de energía química a térmica (calderas); de energía mecánica a energía eléctrica (energía hidroeléctrica, energía eólica, motores y turbinas de generación de electricidad).

- Uso Final de la Energía ("*Final Energy Use*"), es la energía vendida a los consumidores finales. Un consumidor final es cualquier actor económico comprador de energía para generar servicios energéticos para la producción o el consumo (Lovins, 1977). Los servicios energéticos son inmateriales. Ejemplos de estos son: la climatización de ambientes y el transporte de personas u objetos. Queda excluida la transformación de un energético en otro, por ejemplo, la producción de electricidad a partir de diesel (esto se encuentra dentro de conversión). En la figura 3 se muestra bajo dos clasificaciones, el uso de energía final por combustible y por tipo de uso.
- Energía útil ("*Useful energy analysis*"), se trata del uso de energéticos por parte de los consumidores finales. Es la energía efectivamente utilizada por el servicio energético. Esta información no está siempre disponible ya que, en el caso del uso en el sector residencial no es la energía que informa el contador, pues depende del rendimiento del equipo energético utilizado. Cuando esta información existe, suele estar basada en encuestas sobre una muestra aleatoria. Dentro de los usos se pueden encontrar los motores estacionarios, los vehículos, el calor utilizado en procesos industriales, el calentamiento de agua y ambientes, la iluminación y procesamiento de datos.

Estos dos últimos tipos de energía están claramente interrelacionados, según se muestra en el siguiente esquema:



$$\text{Energía útil} = \text{Energía final} - \text{Pérdidas}$$

De donde queda definido un rendimiento de utilización, como el cociente entre la energía útil y la energía final.

Existen pérdidas de energía en los procesos de conversión, transporte, distribución y consumo.

Esta descripción de balances energéticos, denota que en varias sociedades se tiene un acabado conocimiento acerca del consumo de combustibles fósiles, hidroenergía y energía nuclear a los efectos de evaluar la influencia sobre los procesos dentro de la economía.

En segundo lugar, se observa que los cambios de inventarios no se incluyen por motivos de claridad y además, usualmente no tienen mucha importancia relativa a los otros flujos.

Se observa la presencia de fuentes de energía renovable, como lo son la energía solar, eólica y otras; las cuales en la actualidad tienen mayor preponderancia.

La figura 3, también muestra la ausencia en los balances de energía de la provisión de flujos nutricionales para humanos y animales domesticados. Esto se plantea como una necesidad en los enfoques de metabolismo urbano.

En tercer lugar, los metabolismos energéticos deberían estar basados en el poder calorífico superior de los materiales, en lugar del inferior. La razón de esto es debido al desarrollo de nuevas tecnologías, las cuales aprovechan el calor latente del vapor de agua (hornos de condensación). Esto hace que se puede alcanzar rendimientos cercanos al 100%, por lo cual la energía equivalente de un combustible puede ser calculada a partir del poder calorífico superior.

Los balances de energía no solo describen las entradas a un sistema, sino también la forma en que la energía se utiliza, a través de la energía útil. Un ejemplo de esta es la potencia motriz, la cual puede tener varios orígenes y no todos son incluidos en los balances de energía, este es el caso de la potencia extraída de humanos y de animales, principalmente utilizada en tareas agrícolas. Está claro que esta potencia es despreciable comparada con la que se extrae de motores, turbinas, etc. Sin embargo su contabilización puede ser útil en el caso que se tenga como objetivo la comparación de modos de subsistencia (Fischer et al, 1997). Un ejemplo de esto es la comparación de energía útil proporcionada por humanos y animales de una sociedad agrícola en proceso de industrialización en el año 1998, ubicada en el noroeste de Tailandia, llamada Sang Saeng con una economía altamente industrializada en el año 1995, como lo es el país de Austria. Por un lado, en Sang Saeng la energía útil proporcionada por humanos y animales asciende a 0,6 GJ/cap.año, representando un 25% del total de la energía útil. Mientras que en Austria, la

energía útil obtenida del trabajo humano (nótese que la proveniente de trabajo animal es despreciable), es de 0,05 GJ/cap.año, representando un 0,08% del total de energía útil (Haberl, 2001b)

El autor Helmut Haberl compara los flujos energéticos de tres tipos de sociedades con diferentes modos de subsistencia. Por un lado, una grupo que vive de la caza y la recolección. Se trata de una comunidad prehistórica de veinte a cuarenta personas. Al día de hoy, prácticamente no existen, con excepción de entornos de climas extremos, es por eso que dicho metabolismo es estimado. En segundo lugar una sociedad agrícola en proceso de industrialización llamada Sang Saeng del nordeste de Tailandia, en la década del noventa. Y por último un país europeo industrial, también en la década de los noventa, como lo es Austria.

Energía final (GJ/cap.año)	Grupo de cazadores y recolectores	Sang Saeng	Austria	Energía útil (GJ/cap.año)	Grupo de cazadores y recolectores	Sang Saeng	Austria
Comida humana (biomasa)	3.5	5	5	Trabajo humano	0.26	0,3	0.05
Alimentación de animales de trabajo (biomasa)	0	17	0	Trabajo animal	0	0,3	0
Vehículos (combustibles)	-	3	41	Potencia vehicular	-	0.5	13
Calentamiento (biomasa y gas para cocción)	3.5	5	72	Calor entregado	0.7	1.4	49
Iluminación (combustibles y electricidad)	-	0,8	3	Servicio lumínico	-	0.04	0.1
Total	7	31	121		1	2.4	63

Figura 5

En el caso del Grupo de cazadores y recolectores, la energía nutricional para animales es de cero, ya que no domesticaban animales para la realización de tareas. Sin embargo, para la energía útil de la energía nutricional de los humanos se considera una entrega continua de potencia de 50W durante 4 horas por día, lo que asciende en el año a 0,26 GJ/cápita. En el caso de la energía de leña para calentamiento y cocción, se considera una eficiencia de utilización del 20%. Está claro que el uso de esta energía final depende de las condiciones climáticas en la que se encuentra inmersa la sociedad en cuestión. Para del grupo de cazadores y recolectores la energía nutricional representa el 50% de le energía final, mientras que la potencia útil brindada por humanos, significa el 26% del total.

En segundo lugar, para la comunidad agrícola, el 71% de la energía final corresponde a energía nutricional, siendo la mayoría para la alimentación de animales de trabajo. Obsérvese también que en esta comunidad la potencia extraída de humanos y animales también representa el 25% de toda la energía

útil. En este caso la eficiencia para el calentamiento y cocción considerada es del 30%, un poco mayor que el caso del grupo de cazadores, esto es debido a usos con mayor utilización de la energía liberada, como lo puede ser la cocción en dispositivos confinados, cocinas artesanales y calentamiento en hogares.

Si se desea calcular una eficiencia energética para los humanos y animales de trabajo, como el cociente de la energía útil sobre la energía nutricional, se debe tener en cuenta que la energía nutricional no es solo utilizada para la realización de trabajo. Esto es por ejemplo que los animales también utilizan energía para su crecimiento y reproducción; y, en el caso de los humanos la energía también es consumida en funciones básicas como mantenimiento del cuerpo humano, crecimiento y reproducción, etc.. De todas formas, observando la variación de los números de energía final a útil para humanos y animales, se observa que los animales aprovechan la energía en una menor proporción que los humanos. Esto es explicado porque los animales no trabajan todo el tiempo, sino más bien lo hacen por períodos cortos durante el año para luego quedar en reposo.

Por último, para una sociedad industrial como la austríaca, se observa que la energía nutricional de humanos y animales de trabajo no es importante, 4% de la energía final. Esto se debe al aumento de energía final bajo otro tipo de energéticos y la ausencia de trabajo animal. También se puede concluir que en una sociedad industrializada el porcentaje de trabajo humano en la energía útil es de baja significancia². En este caso se considera que la energía física entregada por los humanos es la mitad de la considerada en Sang Saeng, reflejando el aumento de la motorización en la realización del trabajo, hecho que también repercute con que las horas dedicadas al trabajo con entrega de potencia también sean menores.

En conclusión, desde el punto de vista estricto del uso de la herramienta de metabolismo, los balances energéticos deberían ser ampliados incluyendo por ejemplo: la energía nutricional y la potencia humana y animal utilizada en procesos agro-industriales. En el caso de que el objetivo del trabajo lo permita, es posible omitir estas dos mejoras, teniendo en cuenta el peso relativo respecto a los otros componentes.

A nivel global y desde el punto de vista energético, se ha dado una transición en donde la revolución industrial ha sido uno de los puntos de inflexión. El metabolismo de todas las sociedades pre industriales era basado en la utilización de biomasa, haciendo uso así de la capacidad de las plantas de convertir la energía solar, dióxido de carbono, agua y minerales en materiales ricos en energía vía fotosíntesis. A través de la nutrición humana, la alimentación del ganado, se realizaba una conversión a energía mecánica. A

² Es despreciable solamente desde este punto de vista energético en estudio. Desde el punto de vista de la economía es uno de los factores de producción junto con la tierra y el capital.

su vez también la biomasa era utilizada como fuente de combustión, para calentamiento, cocción, iluminación y manufactura. La energía eólica e hidráulica era utilizada pero en una proporción menor. Por lo tanto con el uso de la biomasa, la cual podía llegar a alcanzar el 95% de la energía primaria, los humanos explotan los flujos de energía renovables. Desde el punto de vista de la estructura de la sociedad, los excedentes de oferta de la comunidad agraria era utilizado para abastecer la demanda de los sectores urbanos. La posibilidad de obtener energía mecánica solo de origen humano, animal, agua y viento, era una gran limitante al momento de querer aumentar la productividad del abastecimiento creciente de la demanda. El proceso de transición energética comenzó en el siglo 17 en Inglaterra. Los flujos energéticos de bajo poder calorífico, como la biomasa, fueron suplementados por la explotación de energía almacenada en minas y concentrada bajo la forma de carbón, cuyo poder calorífico es mayor. Inicialmente el carbón era utilizado como combustible para estufas/hornos. A mediados del siglo 18 se da el proceso de revolución industrial, y el comienzo de un nuevo sistema de energía. Con la invención de la máquina de vapor se rompen las restricciones existentes en la capacidad e conversión de calor en energía mecánica. Es a partir de este momento que la sinergia entre distintos procesos productivos es el punto de partida para un salto tecnológico. La máquina estacionaria de vapor permite el aumento de la productividad en la explotación de carbón y reducción de costos. A su vez el uso de carbón permitió el crecimiento de la producción de hierro de alta calidad. Y más tarde a estos dos elementos se le suma la producción de acero, lo que desenlaza la revolución del transporte, con la llegada de los ferrocarriles y el transporte a vapor. En esta etapa se produjo un aumento de la necesidad de trabajadores no vinculados con la agricultura, sino para la industria manufacturera. Mientras tanto las condiciones ambientales de los habitantes urbanos desmejoraban con la aparición de emisiones gaseosas, smog, contaminación de cursos de agua, creación de tugurios para albergar a la clase trabajadora (Krausmann, 2013).

El uso masivo de los combustibles fósiles, constituye un nuevo escalón en el aprovechamiento de los procesos naturales de acumulación y concentración de energía.

El petróleo, tal como el carbón previo a su explosión, se usaba en cantidades no muy significativas, como ser para usos de iluminación. El auge del petróleo comenzó en el 1900 con la descubrimiento de campos en Spindeltop, Texas, Estados Unidos. Estados Unidos lideró la producción de petróleo, hasta después de la segunda guerra mundial en donde comenzó la explotación en Asia occidental. Este energético es de mayor poder calorífico, de mas fácil extracción y transporte si se lo compara con el carbón. Sin embargo, a diferencia del carbón, las reservas de petróleo y gas se distribuyen en el mundo de forma más desigual. Se produce un nuevo cambio tecnológico con la

aparición de los motores a combustión, por un lado el desarrollo del motor Otto en 1886 y por otro la invención del motor Diesel en 1920. Comienza aquí el desarrollo del automóvil, del aeroplano, de la industria petroquímica y finalmente de la electricidad. Esta tercera etapa del uso de la energía está asociada a una nueva estructura socioeconómica en la que el trabajo manual es sustituido por la organización industrial, la cual comienza con la producción masiva de bienes y su transporte a largas distancias (Krausmann, 2013).

La electrificación se puede identificar como una cuarta etapa del análisis. La generación de electricidad comenzó con la generación hidráulica, luego con la generación térmica a carbón, siguiendo con combustibles derivados del petróleo, y a partir de 1960 comienza a participar la generación nuclear. El motor eléctrico permitió la mecanización de muchos procesos, tanto a nivel industrial como doméstico. Asimismo permitió dar la creación del computación comenzado la revolución tecnológica de la comunicación.

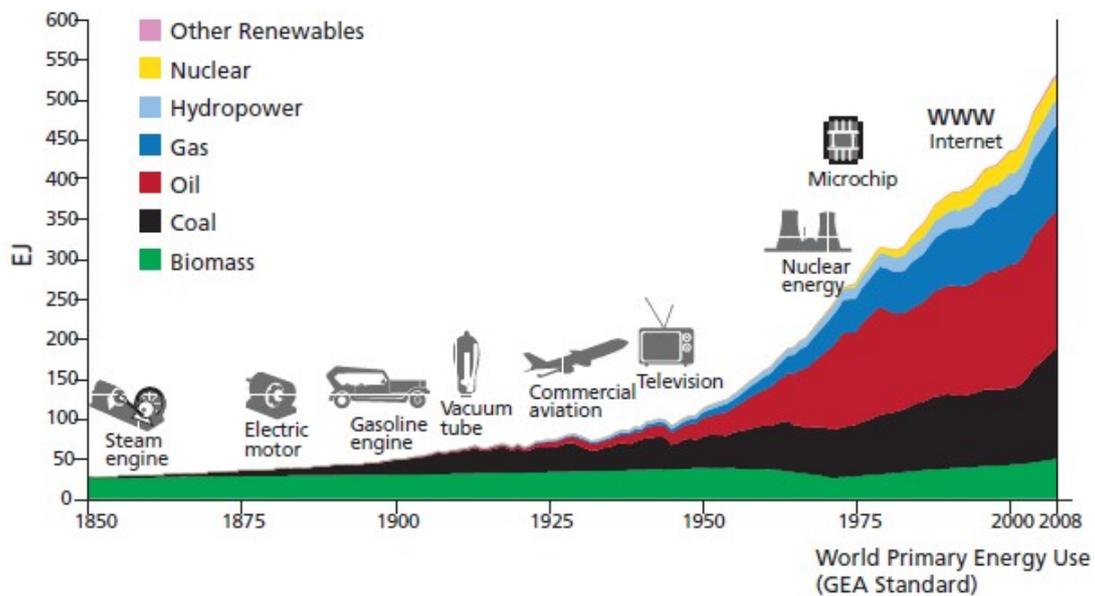


Figura: Evolución del consumo de energía primaria (Fuente: Global Energy Assessment, 2012)

1.2.4. DESARROLLO SOSTENIBLE

El crecimiento económico global, luego de la segunda guerra mundial hasta la década de los setenta, dejó de lado la preocupación de la incidencia de este desarrollo sobre aspectos sociales y ambientales. Es entonces que a partir de esta década comienzan a aparecer insatisfacciones en lo que respecta a los estilos de desarrollo que acompañan el crecimiento económico. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, publicó trabajos en la década de los setenta y ochenta, donde manifiesta la existencia de asimetrías sociales, impactos sobre los recursos naturales y el medio ambiente, resultado del crecimiento económico (CEPAL, 2003).

Existen aportes, críticos al crecimiento económico del siglo 19 con cuestionamientos a los aspectos sociales. Thomas Robert Malthus planteaba que mientras que la población se desarrollaba de forma exponencial, la producción de alimentos lo hacía en forma lineal, por lo que en un momento dado los alimentos resultarían insuficientes y los salarios a niveles por debajo de la subsistencia. Por otra parte David Ricardo en 1817, planteaba que a partir del carácter limitado de la tierra y de la ley de rendimientos crecientes se harían necesarias mas dosis de trabajo y capital para mantener el beneficio que asegura la reinversión, y esto conduciría a una menor retribución del trabajo, llevándola a niveles de subsistencia (Foladori & Pierri, 2005).

En el año 1987, el Informe Brundtland popularizó el concepto de desarrollo sostenible, en donde se plantea la búsqueda del progreso económico que no descuide los aspectos de calidad de vida, preservación del medio ambiente sin olvidar un compromiso ético con las generaciones venideras. (WCED, 1987)

Es claro que existe una conciencia creciente, sobre el deterioro del ambiente y la calidad de la vida de los humanos, que puede afectar las posibilidades de desarrollo futuro de una sociedad. Y es esto lo que implica cuestionarse la sostenibilidad de los modelos de desarrollo.

En 1987, la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD) creada por las Naciones Unidas en 1984, definió el concepto de desarrollo sostenible como: “un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin menoscabar la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades”. Claramente el concepto no es adaptable a definiciones simples. En esta definición, por ejemplo, no queda claro la equidad con la cual se satisfacen las necesidades en el presente y en el futuro; como tampoco cual es el manejo del medio ambiente adecuado que permita garantizar que no se menoscabe la capacidad de las generaciones futuras (CMMAD, 1987).

Por otro lado, la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, establece las bases de una estrategia para un desarrollo sostenible, definido como “un desarrollo que distribuya más equitativamente los beneficios del progreso económico, proteja al ambiente nacional y mundial en beneficio de las futuras generaciones y mejore genuinamente la calidad de vida” (CDMAALC, 1990).

En el marco del trabajo realizado por la CEPAL, se considera al desarrollo humano como elemento central de la sostenibilidad. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), define este desarrollo como “el proceso de ampliar la gama de opciones de las personas, brindándoles mayores oportunidades de educación, atención médica, ingreso y empleo, y abarcando el espectro total de opciones humanas, desde un entorno físico en buenas condiciones hasta libertades económicas y políticas” (PNUD, 1992). De

esta definición se desprende la existencia de tres dimensiones del desarrollo humano. Por un lado, las dimensiones sociales y económicas: educación, salud, ingreso y empleo. Luego se identifica la dimensión ambiental mencionada a través del entorno físico. Y, por último, la dimensión política, a través de las libertades aludidas (CEPAL, 2003).

Tres de los puntos de vista mencionados anteriormente, el económico, ambiental y social, ponderan distintos objetivos del desarrollo sostenible. La economía pretende maximizar el bienestar humano dentro de las limitaciones de capital y tecnología existentes. En lo que respecta al área ambiental, se hace hincapié en asegurar la estabilidad del ecosistema y por último la sociología subraya que los agentes claves son los seres humanos, siendo su esquema de organización fundamental para alcanzar el desarrollo sostenible (Serageldin, 1993).

1.2.4.1. INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD

En el trabajo de la CEPAL se proponen cuatro indicadores que permiten tipificar patrones de sostenibilidad del desarrollo. Cabe aclarar que tomar un número limitado de indicadores es una simplificación de la complejidad de la situación.

- **PBI per cápita (PBIpc)**, para las dimensiones económica y social. Un alto PBIpc significa un alto ingreso promedio, lo que en general es acompañado de una elevada productividad de la economía, lo cual es clave para la sostenibilidad y el desarrollo económico. Se define como la relación entre el Producto Bruto interno y la población total del país. El indicador se calcula a través de la siguiente fórmula

$$PBI\ pc = \frac{PBI}{población}$$

- La **distribución del ingreso**, que representa la dimensión social en lo que refiere a equidad. Dado que un mayor nivel de ingreso se vincula con el grado de acceso a aspectos que caracterizan la calidad de vida, se entiende que una reducción de las asimetrías en la distribución de ingresos es más sostenible.

Este indicador se puede vincular con el coeficiente de Gini de distribución de ingresos. A medida que su valor se acerca a cero la distribución se hace más igualitaria, mientras que cuando se acerca a 1, la distribución es más inequitativa (SADS, 2015).

La fórmula de cálculo es a través de la curva de Lorenz. Se trata de una representación gráfica de la desigualdad en el reparto de la renta existente de un determinado país. En el eje de las abscisas se ubica el porcentaje acumulado de población de modo ascendente en su nivel de ingresos; y en las ordenadas se indica el porcentaje acumulado de

ingreso que perciben esos grupos de población. La diagonal a 45° muestra la situación teórica de perfecta igualdad.

El coeficiente de Gini es el cociente entre el área comprendida entre la diagonal a 45° y la curva de Lorenz y el área comprendida entre la diagonal a 45° y los ejes de abscisas y ordenadas.

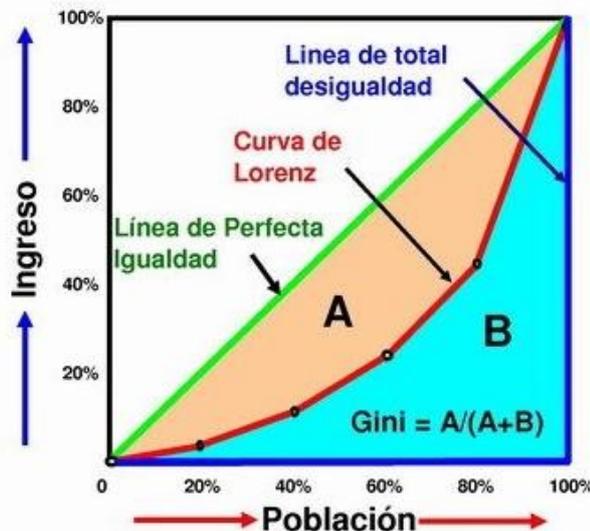


Figura 6: Coeficiente de Gini y Curva de Lorenz

- La **inversión interna neta en capital físico y natural (ahorro genuino)**. La inversión neta, es la bruta menos la depreciación del capital. Por otro lado, en el ahorro genuino se consideran además las reducciones de reservas de los recursos naturales. El ahorro genuino tiene una relación directa con la sostenibilidad, dado que implica esfuerzos que se realizan en el presente para potenciar el desarrollo en el futuro.

El indicador más utilizado para medir ahorro de un país es el ahorro neto. Sin embargo, para contemplar aspectos ambientales, surge la definición del ahorro genuino.

Ahorro genuino

$$\begin{aligned}
 &= \text{Ahorro Nacional Neto} + \text{Inversión en capital humano} \\
 &\quad - \text{depreciación del capital natural} \\
 &\quad - \text{daños por contaminación}
 \end{aligned}$$

Valores negativos del ahorro genuino llevan a una disminución del valor total de la riqueza.

Este ahorro cobra importancia en el marco de la regla de Hartwick, que recalca el valor de los recursos naturales como potenciadores de desarrollo, a través de la idea que es necesario acumular ganancias de los recursos, para poder generar ahorro y poder invertirlo en capital humano e infraestructura, ayudando así al proceso de sostenibilidad (Casal, 2015).

- La **dotación de capital natural per cápita**. Este indicador aplica para la dimensión del entorno físico. Abarca tanto el capital no renovable, como ser los combustibles fósiles; así como el renovable, suelos, bosques, etc. Para este indicador resulta evidente que cuanto más grande la dotación de recursos naturales, más alto podría llegar a ser el crecimiento económico que implique la utilización de los mismos. Se trata de una estimación del valor comercial de los recursos naturales. Los componentes a considerar son: energéticos, minerales, recursos forestales, tierras cultivables, tierras ganaderas y áreas protegidas (Sandonato, 2012). Para la valorización de los activos mencionados, el Banco Mundial establece una metodología de estimación en el documento "The Changing Wealth of Nations", (Banco Mundial, 2011).

Un abordaje más amplio, puede incluir un conjunto de indicadores adicionales. La Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación de Argentina cita dentro de una publicación, una serie de indicadores que abarcan muchos aspectos agregados a los mencionados anteriormente, entre los cuales se pueden destacar los que se detallan a continuación.

Dentro de la dimensión social se puede ejemplificar:

- Porcentaje de población que vive por debajo de la línea de pobreza
- Tasa de mortalidad infantil
- Esperanza de vida al nacer.
- Coeficiente de Gini de distribución de ingresos.
- Tasa de crecimiento demográfico

En relación a la dimensión ambiental, se pueden señalar:

- Reservas comprobadas de hidrocarburos
- Disponibilidad hídrica superficial por cuenca.
- Participación de fuentes renovables en la oferta total de energía primaria.
- Porcentaje de la superficie cubierta por bosques.

Comprendidos en la dimensión económica, se puede mencionar también:

- Tasa de crecimiento del PBI.
- Participación sectorial en el PBI.
- Tasa de empleo.
- Índice de precios al consumidor.

La energía es esencial para el desarrollo económico, social y para la mejora de la calidad de vida. Sin embargo, gran parte de la energía que hoy es explotada en el mundo es de origen fósil, estando basada en recursos finitos, por ser

energéticos no renovables, de forma que por definición se hace no sostenible en el tiempo.

La importancia de la energía en el desarrollo sostenible está relacionada con varios aspectos. En primer lugar, la eficiencia en el abastecimiento energético, se vuelve clave para el desarrollo económico. En segundo lugar, los problemas ambientales relacionados con la energía, como por ejemplo la explotación de arenas bituminosas en Canadá sin mitigación ambiental, hacen posicionarla como una meta importante para alcanzar la sostenibilidad. Por último, la equidad dentro del sector energético, tal que permita un acceso universal a la energía, es preponderante en la mejora de la calidad de vida (Carneiro, 2012).

De acuerdo a lo anterior existe una contribución de los sistemas energéticos al desarrollo sostenible, que puede ser medida a través de indicadores. Algunos de esos indicadores se detallan en la siguiente tabla:

INDICADOR	RELACION CON ALTA SOSTENIBILIDAD
Autarquía Energética	Baja participación de las importaciones en la oferta energética.
Robustez frente a cambios externos	Baja participación de las exportaciones energéticas en el PBI.
Productividad energética.	Alto PBI por unidad de energía.
Cobertura eléctrica.	Alto porcentaje de hogares electrificados.
Cobertura de necesidades energéticas básicas.	Suficiente consumo de energía útil residencial.
Pureza relativa del uso de la energía.	Bajo niveles de emisiones
Uso de las energías renovables.	Alta participación de las energías renovables en la oferta energética.
Alcance de los recursos fósiles y leña.	Alta relación reservas/producción de energéticos fósiles y leña.

Tabla 1: Fuente: OLADE, 1997

A continuación, se detalla la forma de cálculo de los indicadores para la sostenibilidad en términos energéticos, entre los que se encuentran los de la tabla anterior (OLADE, 1997).

AUTARQUIA ENERGETICA

Se trata de un porcentaje que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Autarquía Energética} = \frac{\text{Importaciones Energía Primaria}}{\text{Oferta total de energía primaria (importación + producción)}}$$

Es un indicador que indica la fragilidad en la sostenibilidad económica en países importadores de energía.

ROBUSTEZ FRENTE A CAMBIOS EXTERNOS

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Robustez = \frac{\text{Exportaciones energéticas}}{PIB}$$

Las unidades son energía/dólares.

Este indicador indica la vulnerabilidad de las economías altamente dependientes de la exportación energética.

PRODUCTIVIDAD ENERGÉTICA

Es el inverso de la intensidad energética, siendo la intensidad energética el cociente entre el consumo total de energía y el PBI anual.

$$Productividad = \frac{PBI}{\text{Consumo de energía total}}$$

Una alta productividad energética significa que se produce más PBI por unidad de energía consumida. La unidad es \$/energía.

COBERTURA ELECTRICA

Se trata del porcentaje de hogares electrificados.

COBERTURA NECESIDADES BASICAS ENERGETICAS

Se trata del consumo de energía útil residencial. Su unidad es energía/habitante.

PUREZA RELATIVA DEL USO DE ENERGÍA

Se trata de las toneladas de CO₂ emitidas por la energía consumida. La unidad es ton/energía.

La emisión de CO₂ puede ser calculada multiplicando, factores de emisiones por el uso de energía final.

Se considera como un nivel no sostenible 1 ton CO₂/bep (barriles equivalentes de petróleo), mientras que un valor de 0,3 ton CO₂/bep se considera sostenible (OLADE, 1997)

USO DE ENERGÍA RENOVABLES

Se define como la participación de energía renovable en la oferta energética, en porcentaje.

ALCANCE DE RECURSOS FÓSILES

Es la relación entre reservas y producción. Su unidad es tiempo.

$$\text{Alcance} = \text{reservas}/\text{producción}$$

En este punto se incluye la leña en comparación con los recursos fósiles para evidenciar el impacto de este recurso en países con fuerte abastecimiento de la misma, como lo es Latinoamérica.

ENERGÍA FINAL Y ÚTIL PER CÁPITA.

Surge del cociente entre el consumo de energía primaria y secundaria, con el número de habitantes.

$$\text{Energía per cápita} = \frac{\text{consumo de energía}}{\text{número de habitantes}}$$

Permiten ver cambios en la eficiencia de conversión de energía final a útil. Esto es por ejemplo que la tasa de aumento de energía útil versus energía final sea mayor que uno. En este punto, hay que tener en cuenta lo que se denomina Efecto Rebote. Se trata cuando el ahorro de energía obtenido por las nuevas tecnologías, termina siendo absorbido por un nuevo mayor consumo energético (Sorrell y Dimitropoulos, 2008).

1.2.4.2. SEGUIMIENTO DE LA SOSTENIBILIDAD

Surge la interrogante de cuáles son los objetivos para alcanzar un desarrollo sostenible.

Existen autores que caracterizan al desarrollo sostenible como un proceso dinámico y no es un estado final fijo alcanzable (Mog, 2004).

Además, la sostenibilidad está caracterizada por la sociedad que la contiene, esto significa que para generaciones futuras, con otro conocimiento, otras necesidades y nuevas tecnologías se podría definir un desarrollo sostenible con otras características (Meadows, 1998)

A pesar de las singularidades que puede tener la definición del desarrollo sostenible, su medición es indispensable para la materialización del concepto.

En primer lugar la comparación entre un indicador y el objetivo deseado es un requisito para la evaluación del desarrollo.

Los indicadores, por un lado facilitan la comprensión de un análisis complejo agrupando información y expresándola en forma de conceptos, producto de convenciones (patrones reconocibles).

Existen distintos enfoques para la medición del desarrollo sostenible los cuales definirán un determinado conjunto de indicadores. Ejemplo de ellos es el elaborado por el departamento de políticas de coordinación y desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, el cual incluye 130 indicadores.

Los autores (Kemmler, 2006), distinguen dos campos de aplicación del concepto de sostenibilidad. Por un lado, en los países desarrollados la discusión de sostenibilidad está enfocada a aspectos medioambientales; mientras que en países en desarrollo los aspectos socio económicos como la pobreza y la satisfacción de necesidades básicas, toman mayor preponderancia.

En primer lugar, se recomienda formular una visión propia al objeto de estudio de desarrollo sostenible, para identificar los problemas más relevantes que afectan ese desarrollo sostenible. Luego, se debe construir un marco en el cual se abordarán los problemas identificados (Kemmler 2006).

Para asegurar la sostenibilidad es importante dar una ponderación equivalente a los aspectos económicos, sociales y ambientales, ya que tomar una dirección en la que los aspectos económicos sean los que mejoran, descuidando los aspectos sociales y ambientes, es por definición no sostenible.

Los autores (Kemmler 2006) proponen un conjunto acotado de indicadores, dentro de un sistema energético, para describir, por ejemplo, el desarrollo de

India en los últimos 20 años. La idea de que el sistema energético sea el marco de estudio, se debe a que cualquier actividad entre el ambiente y la antropósfera está vinculada por un flujo energético.

La lista de indicadores existentes para el seguimiento de la sostenibilidad es muy vasta. Sin embargo el objetivo es elegir un grupo restringido de ellos que represente todas las dimensiones a abordar en la sostenibilidad. El conjunto elegido por los autores es ilustrativo para mostrar como el marco elegido es aplicado. El conjunto tendrá en cuenta la actividad económica, el cambio climático, la pobreza, la equidad, los recursos energéticos, la eficiencia energética, la contaminación del aire.

Los indicadores propuestos se detallan a continuación.

En una visión a largo plazo, un sistema energético sostenible sería aquel que esté basado en un gran porcentaje de fuentes renovables. Por lo que, en lo que respecta a conservación de los recursos energéticos se propone como indicador la proporción de energías primarias renovables, en el total de energía primaria utilizada

En la teoría económica la energía es incluida como una tercera entrada en la función de producción junto con el capital y el trabajo y, por lo tanto, es considerado como uno de los impulsores del crecimiento económico. Dentro de las economías energo-intensivas como la India, la entrada de energía es utilizada como un indicador de la actividad económica. Se define entonces la intensidad energética de la economía como el cociente entre el consumo total de energía y el producto bruto interno generado. Esta intensidad también es posible definirla por sector de consumo, transporte, servicios, industria y agricultura. Esto puede desenmascarar que una economía muy intensiva pero muy eficiente (baja intensidad) pueda ser considerada menos eficiente que una economía muy ineficiente pero primordialmente de servicios, por lo cual menos intensiva. Este indicador es utilizado en el área de actividad económica y eficiencia.

Para el ítem de cambio climático, la medición de gases de efecto invernadero se considera como el indicador apropiado. Se trata de la emisión en la combustión de combustibles fósiles de CO₂, CH₄ y N₂O.

Luego, en lo que concierne a la contaminación del aire proveniente de, en gran parte, la combustión de combustibles, se utilizan indicadores que midan estas emisiones. Las sustancias responsables de la contaminación son los óxidos de nitrógeno NO_x, dióxido de azufre SO₂, compuestos orgánicos volátiles y las partículas. Las mismas pueden causar daño a la salud y producir lluvia ácida entre otros efectos. A diferencia del cambio climático el efecto tiene un alcance local. Las emisiones provenientes de quema de combustibles, SO₂ y NO_x, se

pueden extraer de un inventario de emisiones, siendo las mismas el indicador de contaminación local atmosférica.

Para muchos países en desarrollo la principal causa de la contaminación atmosférica residencial es producto de la combustión, muchas veces incompleta, de combustibles, denominados "sucios", utilizados para el calentamiento y/o cocción como carbón, leña y residuos. Las emisiones asociadas a estos usos pueden llegar a ser elevadas y la exposición de las personas a las mismas pueden ser causantes de enfermedades. Estas emisiones dependerán del consumo de combustible, la tecnología de quema, la ventilación o la cantidad de personas expuestas. Al ser un aspecto que depende de muchos factores es difícil su medición, por lo cual se suele utilizar como indicador, el número de hogares expuestos a cocinas abiertas que funcionen con combustibles sólidos.

POBREZA Y EQUIDAD

La pobreza y equidad es un gran desafío de la sostenibilidad. La mitigación de la pobreza es uno de los principales desafíos de los países en desarrollo en el marco del desarrollo sostenible. La misma está asociada con la satisfacción de necesidades básicas de los individuos. En el año 2015 la ONU aprobó la agenda 2030 sobre desarrollo sostenible, la cual cuenta con 17 objetivos, entre los cuales está erradicar la pobreza extrema.

El PBI/cápita de una economía es un indicador de la riqueza de una economía. Sin embargo, al hablar de sistemas energéticos se buscan indicadores que midan la pobreza en dicho campo. Algunos indicadores pueden ser asequibilidad a los combustibles y a la electricidad, proporción de los ingresos de un hogar que son destinados al acceso a combustibles o electricidad. Por ejemplo, un hogar se considera pobre energéticamente si gasta más del 10% de sus ingresos para obtener servicios de energía adecuados (Boardman, 1991). Esta definición corre el riesgo de subestimar la pobreza energética, ya que muchos hogares pobres utilizan combustibles no comercializados, como lo son la biomasa auto recolectada, la cual no tiene un costo monetario.

La equidad, en lo que respecta al consumo de energía, puede explicarse evaluando los patrones de uso de energía de los hogares y si estos describen el nivel de bienestar de dichos hogares. Entonces, la distribución del uso de la energía en una determinada población puede ser utilizada como una medida de la equidad en el consumo. Se estima a través del índice que mida esa distribución de patrones de consumo en la población.

Una vez que se tengan los indicadores seleccionados será necesario, para analizar el proceso de desarrollo sostenible de un determinado objeto de estudio, la medición a través de los indicadores en un amplio período de

tiempo. Incluso es necesaria la proyección de los mismos en el tiempo, con el fin de fijar los objetivos a alcanzar.

En el siguiente ejemplo se muestra los indicadores utilizados para describir el desarrollo de India entre 1983 y 2000, con proyección a 2025.

	sustainability criteria	indicator	83/84	88/89	93/94	99/2000	2025 scenario ^{1*}	tendency
economy	economic activity	total primary energy consumption [Mtoe] ^{a*}	275.3	333.1	395.8	485.7	1135.8	↗
	efficiency	(energy intensity) ⁻¹ [million Rs. 9394/toe] ^{a,b*}	17.14	18.47	19.74	23.64	69.72	↗
	energy resource stock	ratio of renewable and total energy resources used ^{c*}	0.49	0.42	0.40	0.36	0.14	↘
environment	climate change	sum of released CO ₂ equivalents due to energy use [MT] ^{cd*}	545	760	865	1075	3550	↗
	local and regional air pollution	fuel based emissions of SO _x and NO _x [MT] ^{d*}	-	3.45 / 2.63	4.51 / 3.45	-	9.49 / 8.04	↗
	indoor air pollution	number of people relying on solid fuels for cooking [million] ^{e*}	595	625	622	690	585	↘
society	poverty	access-use matrix poverty rate ^{e*}	72.8	60.4	47.2	34.1	23.6	↘
	equity	Gini-Index of access-adj. useful energy ^{e*}	0.4	0.485	0.49	0.49	0.49	→

Figura 7: Resumen de los indicadores de India desde 1983 a 2000 con un escenario futuro (Kemmler, 2006)

De la figura anterior se desprende que la economía ha crecido, sobre todo a finales de los años noventa donde aumentó el consumo de energía primaria y aumentó la eficiencia por disminución de intensidad. Sin embargo, se ha dado una disminución de la participación de energía renovable en el total de energía primaria, factor que conspira contra la sostenibilidad.

Ese aumento de demanda de energía, que incluyó el aumento de consumo de energía fósil, generó un incremento en la emisión de gases de efecto invernadero y otras contaminantes como SO₂ y NO_x, en el período 1983-2000. Adicionalmente, aumentó el número de personas sin acceso a combustibles limpios para cocción hasta el año 2000, con lo que el indicador de contaminación atmosférica residencial creció. Estos tres indicadores convergen en una disminución de sostenibilidad hacia el año 2000.

Por último, la proporción de personas expuestas a pobreza energética se redujo en un 50% en el período de tiempo considerado (1983-2000), pero la inequidad entre riqueza y pobreza se mantuvo prácticamente constante con el tiempo.

Finalmente, se puede constituir un conjunto de indicadores futuros. Para ello es necesario definir un escenario en el cual se asumirán determinadas las evoluciones de la economía, de la población y de la constitución de la matriz

energética. Estos escenarios constituyen alternativas de futuro. Existen tres abordajes principales para la confección de escenarios. Un escenario que extrapola la realidad actual, que es lo que se denomina como *Business as usual*. Un segundo escenario que es exploratorio, en el cual se da una ruptura en el futuro. Esto significa la ocurrencia de un hecho reestructurador, el cual no se prevé a partir de tendencias históricas. Y por último un enfoque normativo, en el cual se describe una situación futura deseada y se estudia cuáles son las barreras por las cuales no sucede.

Según como se aprecia en la tabla anterior y dado un escenario de crecimiento, en un escenario *Business as usual*, hay un aumento de demanda de energía, una disminución de la participación de renovables, una disminución del número de hogares con uso de combustibles más contaminantes y el nivel de inequidad permanece constante. Dentro del ámbito de la economía hay una sostenibilidad a futuro cuestionada, dado por el aumento de la actividad económica con disminución de fuentes renovables. En el área medioambiental la sostenibilidad al año 2025 decrece debido al aumento de las emisiones de GEI y contaminantes, sin embargo la población expuesta a contaminación atmosférica residencial disminuye. Dentro del plano social hay grandes avances en desarrollo sostenible ya que la pobreza energética disminuye, manteniendo el nivel de equidad.

En conclusión, para evaluar la sostenibilidad es necesario estudiar algunos posibles escenarios y calcular, para cada uno de ellos, el conjunto de indicadores. Luego, se puede realizar una comparación de los indicadores entre los distintos escenarios, evaluando la sostenibilidad de cada uno de ellos en cuanto a la afectación de los mismos sobre el desarrollo sostenible. En este ejemplo se limitó al estudio dentro de un marco económico - energético, ya que los indicadores calculados pertenecen a ese sistema. Sin embargo, obviamente el estudio de sostenibilidad, se extiende a otros sistemas.

CAPÍTULO 2

2.1. MÉTODOS PARA EL CONTEO DE FLUJO DE MATERIALES

Con el fin de presentar una estandarización metodológica, es que se presentan nueve enfoques con los cuales cuantificar los flujos de materiales. El objetivo de los mismos, es el seguimiento de los flujos de materiales, sin embargo algunas de ellas incluyen flujos energéticos. Se analizará que posibilidad de aplicación pueden tener estas técnicas para la medición de flujos energéticos.

Una primera agrupación de los métodos, es de acuerdo al alcance de cada uno. Por un lado, se tiene los que se aplican a una economía completa ya sea una sociedad país o un sector económico y, por otro lado, los que su enfoque se restringe específicamente al flujo de un bien material, servicio o proceso, independientemente de la ubicación (Daniels 2002) (Bringezu, 2003).

Dentro de los procedimientos aplicables a una economía completa se encuentran:

- Análisis de requerimiento y salida total de material (sigla en inglés *TMRO Total Material Requirement and Output*)
- Flujo interno de masa MFA (del inglés "bulk internal flow", sigla MFA-BIF)
- Análisis de flujo de sustancia (sigla en inglés *SFAs Substance Flow Analysis*)
- Tabla de entradas y salidas físicas (sigla en inglés *PIOT Physical Input-Output Table*)
- Análisis de huella ecológica (sigla en inglés *EFA Ecological Footprint Analysis*)
- Modelos de espacio ambiental (sigla en inglés *ES Environmental Space*)

Por otro lado, dentro de las técnicas enfocadas en un bien, servicio o proceso se tiene:

- Análisis de ciclo de vida (sigla en inglés *LCA Life-Cycle Assessment*)
- Intensidad de material por unidad de servicio (sigla en inglés *MIPS Material Intensity per Unit Service*)
- Índice de sostenibilidad de proceso (sigla en inglés *SPI Sustainable Process Index*)

A continuación se describirán cada uno de los métodos.

TMRO

Se trata de un enfoque de conteo de flujo de materiales que cuantifica el intercambio físico de material entre un sistema económico, nacional o regional y el entorno. Se consideran flujos de materiales en cualquier etapa del ciclo de

vida del bien o producto, se incluyen también flujos ocultos que pueden estar fuera de la economía y no tener valor económico. En general la unidad de medida es la masa (puede ser volumen) anual de entradas y salidas del sistema económico en un nivel de agregación alto.

En la figura 8, se muestra un esquema de la metodología. El procedimiento considera tanto entradas como salidas. Por un lado, se tiene el Requerimiento Total de Materiales (del inglés TMR), el cual está compuesto por las importaciones y la extracción doméstica. Se deben incluir los flujos ocultos externos y domésticos (los mismos pertenecen a entradas no comercializadas asociadas con importaciones o producción doméstica que quedan por fuera de la economía y no tienen un valor económico). Las salidas de materiales son las exportaciones y la Salida Total Doméstica (del inglés TDO), en donde también se deben incluir flujos ocultos domésticos junto con salidas domésticas procesadas no comercializadas que son emitidas al medio aire, agua y tierra.

Generalmente, los flujos principales que son utilizados por esta herramienta pueden ser agrupados en las categorías que se detallan a continuación. Por un lado, la extracción doméstica no renovable, como por ejemplo energéticos, metales, materiales industriales y de construcción; y los renovables, como lo son cualquier tipo de biomasa. Las importaciones no renovables, renovables, los bienes semi-manufacturados, los productos finales y flujos ocultos externos. Por el lado de las salidas los flujos considerados son: en primer lugar, las exportaciones de cualquier tipo de bien y, por otro, los efluentes generados en todo tipo de proceso. Estos se emiten sobre tres tipos de medios. Entre los efluentes gaseosos se puede citar el dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), oxígeno y vapor de agua. Entre los que se vuelcan a la tierra, están los residuos sólidos industriales. Y en tercer lugar los que se vierten al agua, como por ejemplo efluentes domiciliarios.

Los flujos ocultos de erosión de suelos, deben ser considerados tanto en entradas como en salidas.

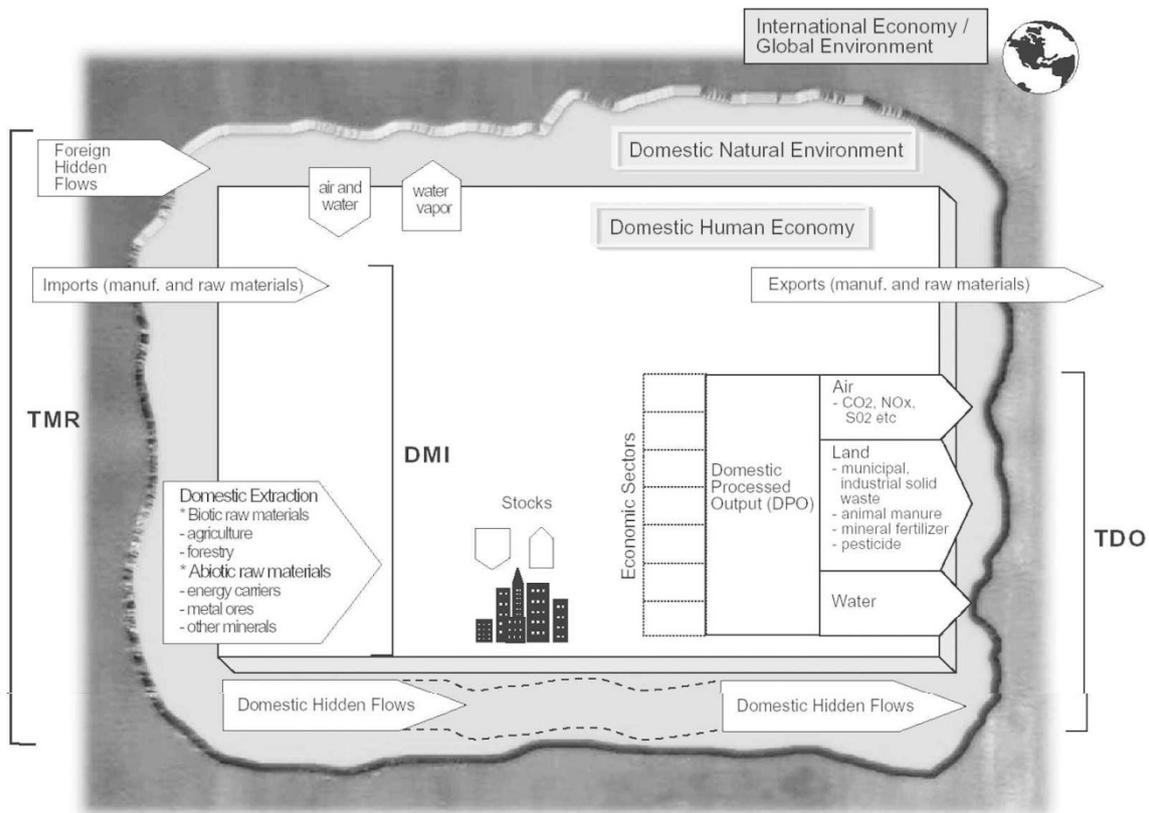


Figura 8: Esquema enfoque TMRO.
Fuente: Daniels, 2002

Con esta técnica se puede calcular lo que se denomina la "mochila ecológica". Esto es la cantidad de material movilizado para producir un bien, menos la masa del propio bien.

Los estudios que se realizan con la aplicación de esta técnica permiten vislumbrar el tamaño y la estructura de los flujos de materiales de una economía. De esta forma se pueden obtener valores absolutos y per cápita de estos flujos, cálculo de intensidad de materiales en el tiempo. El parámetro TMR también puede ser ponderado por el PBI, por ejemplo, obteniendo así un indicador económico en masa por dólar generado dentro de la economía. Este indicador puede ser considerado como una intensidad de material.

En conclusión, esta metodología se podría representar mediante la siguiente ecuación de balance:

$$TMR = TDO + Exportaciones + \Delta reservas$$

En donde TMR es la suma de importaciones de materias primas y productos manufacturados, de la extracción doméstica; y de flujos ocultos externos e internos. Como ejemplo se puede encontrar distintos tipos de materiales, como pueden ser productos agrícolas, de forestación, energéticos, metales, minerales y productos terminados. Nótese que esta metodología considera los

energéticos. El TDO, es la suma de todas las salidas, producto de los procesos ocurridos dentro de la economía. Estos son efluentes gaseosos, líquidos y sólidos. Luego están las exportaciones de productos y materias primas. La variación de las reservas, está dada por construcciones en el caso de aumento del mismo y materiales a desechos en el caso de disminución de reservas.

A ambos lados de la igualdad se deben considerar los flujos ocultos.

FLUJO INTERNO DE MASA

Se trata de un enfoque similar al método anterior, en dónde se realiza un balance de flujo de materiales, en el cual se considera entradas, salidas y acumulación de materiales, ocasionado por el metabolismo urbano de una determinada región. El método considera clave el cumplimiento del balance de masa:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \Delta \text{reservas}$$

En las primeras aplicaciones del método TMRO, el cumplimiento del balance másico fue menos crítico. Es por eso que las técnicas MFA-BIF se consideran como precursores de los TMRO más evolucionados (Daniels, 2002).

Se aplica tanto a nivel regional como para industrias o sectores económicos.

El diagrama de flujos que se muestra en la figura 9 denota el enfoque similar a la metodología TMRO. Una diferencia es que el MFA-BIF plantea un nivel de agregación mayor de los flujos. Es así que los flujos ocultos no son tenidos en cuenta como tal sino que pueden quedar incluidos en otros flujos; las importaciones a considerar son aquellas materias primas y materiales vinculados directamente con productos terminados.

A diferencia de la herramienta TMRO, la MFA-BIF abarca flujos de salida sobre cinco modos: emisiones, desperdicios, descargas deliberadas, exportaciones y pérdidas disipadoras (figura 9).

Otra diferencia con respecto a la técnica TMRO, es que mientras los flujos considerados son aquellos que se intercambian dentro de límites de una economía doméstica, el ambiente y el resto del mundo, en MFA BIF se examinan los flujos entre sectores dentro de una economía, como por ejemplo podría ser los flujos de la biomasa dentro de la economía.

En la figura 9 se muestra un diagrama de un MFA para Austria en el año 1992. El ejemplo abarca cinco grupos de materiales: combustibles fósiles, minerales,

Mientras que las pérdidas debidas a disipación están definidas como la masa de producto vertido al ambiente de forma inevitable como consecuencia del uso del producto. Como ejemplo se pueden citar residuos de corrosión y evaporación de solventes

Con respecto a la contabilización de estas dos salidas, en algunas instancias hay información que permiten la cuantificación de las mismas, es el caso de emisión de fertilizantes o pesticidas. En otros casos se utilizan factores de estimación, como puede ser la generación de estiércol por los distintos tipos de ganado. Asimismo para el cálculo de las pérdidas por disipación en general es necesario el uso de estimaciones, ya que se trata de flujos difíciles de cuantificar como los provenientes de procesos de corrosión, erosión y abrasión.

TABLAS DE ENTRADAS Y SALIDAS (PIOT)

Las tablas de entradas y salidas físicas, además de considerar la metodología de entradas y salidas, incorpora los sectores de explotación de recursos naturales y de disposición final de desechos. El objetivo es no solo considerar el flujo de materiales y bienes dentro del sistema económico, sino también entre el mismo sistema económico y el ambiente. Involucra una cobertura exhaustiva de los movimientos de los materiales más relevantes para el ambiente. Puede llegar a la desagregación de los materiales al nivel de elementos y/o componentes químicos. El método PIOT realiza la trazabilidad de un recurso natural que entra a la economía, es procesado y transformado en un bien, transportado dentro del sistema, utilizado y finalmente devuelto al medio natural como un residuo. Como característica a destacar, el procedimiento permite la identificación de la carga acumulativa ambiental.

Las tablas que se pueden encontrar en la metodología son:

- Tabla de entradas físicas o de uso. Establecen que categoría económica (industria, consumo residencial) usa o recibe que material (divididos en materias primas, productos y residuos)
- Tablas de salidas físicas o de abastecimiento. Las mismas incluyen que categoría económica produce o entrega qué material. Por lo cual las materias primas naturales aparecerán aquí como una salida y como una entrada en la tabla anterior.
- Tabla de integración de materiales, que indican el uso que se hará de cada uno de los tres tipos de materiales (en filas), por las categorías económicas (en columnas)

Table 13: An aggregated PIOT - sub-table for minerals

	Extraction	Manufacturing				Services	Households	Accumulation		Total processed output	Exports	Emissions to air	Emissions to water	Emissions to land	Dissipative uses and losses	Total systems output	Total sectoral output	Balance
		Machinery	Transport equipment	Chemical industry	Other manuf.			Construction	Durables, inventory									
Extraction																		
Machinery																		
Transport equipment																		
Chemical industry																		
Other manuf.																		
Services																		
Households																		
Construction																		
Durables, inventory																		
Total processed input																		
Metals																		
Non-metals																		
Mass minerals																		
Additional water and air																		
Total domestic extraction																		
Imports																		
Total primary inputs																		
Total sectoral input																		

White cells: material flow estimates, generated from statistical sources using the aggregated PIOT approach.
 Light grey cells: sums derived from white cells for the purpose of crosschecks and indicator estimation.
 Dark grey cells: overlap with economy-wide MFA.

Source: Weisz (2000)

Figura 10: Esquema de Tablas de Entradas y Salidas
 Fuente: Eurostat, 2000

La herramienta puede ser representada de forma tridimensional considerando varios materiales o se pueden realizar sub tablas para un tipo de material, tal como se ve en la figura 10, como ejemplo para los minerales.

El cuadrante de abajo a la izquierda contiene todas las entradas directas de materiales (extracción doméstica, importaciones). El cuadrante de las salidas arriba a la derecha, el cual contiene todas las salidas domésticas al ambiente (salidas procesadas y exportaciones). Y el cuadrante de procesamiento que representa los flujos de materiales dentro de la economía, demandas, arriba a la izquierda. Los energéticos pueden ser utilizados en esta metodología.

En general, la unidad de medida utilizada es la tonelada para los flujos másicos y en el caso de energéticos se utilizan los poderes caloríficos para asegurar consistencia entre los combustibles.

ANÁLISIS DE FLUJO DE SUSTANCIA

Este procedimiento se focaliza en el flujo material de una sustancia químicamente definida, o un grupo limitado de sustancias a través de una región geográfica relativamente extensa. Dentro de esta región es que se consideran todas las economías que de alguna forma están relacionadas con el flujo de la sustancia. Dentro de la definición de sustancia se encuentran los elementos químicos o compuestos de ellos, como ejemplo se pueden mencionar el fósforo o nitrógeno, cromo, mercurio y otros metales pesados; y como compuestos pueden ser los órgano-clorados, agua. Considera los

principios de balance de masa. Es muy utilizado en el seguimiento de contaminantes, surgiendo como respuesta a una problemática ambiental, para, a partir de aquí, poder modelar y cuantificar los flujos del material en estudio. El resultado final es la elaboración de un plan de reducción y/o eliminación o cualquier estrategia de gestión. No considera el aspecto energético.

ANÁLISIS DE HUELLA ECOLOGICA (EFA)

La metodología EFA fue concebida para el diseño de un indicador de sostenibilidad de fácil comprensión. El procedimiento agrupa y calcula los requerimientos energéticos y de materiales de una región para unas determinadas funciones de consumo. Luego transforma los flujos metabólicos en área de tierra productiva requerida para producir los recursos utilizados en esas actividades, para luego compararla con las áreas productivas disponibles en la región en consideración.

Como resultado de la metodología, se pueden obtener dos tipos de interpretaciones. Por un lado, si la demanda per cápita excede la capacidad de regeneración disponible de las tierras productivas existentes, las necesidades metabólicas actuales son insostenibles. Por otro lado, el procedimiento puede ser orientado a identificar cuales actividades de consumo tienen los mayores requerimientos de materiales y de energía y enfocar así acciones de eficiencia, reciclaje o directamente disminución de consumo sobre las mismas. Es una técnica que considera el consumo energético.

En la figura 11 se muestra una representación gráfica de la metodología. Los flujos metabólicos son considerados como el consumo de materiales y energéticos. Estos flujos básicos son convertidos en distintos tipos de tierras ecológicamente productivas: energía, construcciones, jardín, cultivos, pasturas y forestación. Luego estos flujos son asociados a cinco diferentes actividades de consumo: alimentos, sector residencial, transporte, consumo de bienes y servicios públicos.

En forma simplificada la huella ecológica (EF) de un recurso renovable se puede calcular la siguiente forma:

$$EF = \sum \frac{P_i}{Y_{wi}} \cdot EQFi$$

En donde P_i es la cantidad de producto i que es cosechado. Y_{wi} es el rendimiento promedio de producción del producto i . Y por último $EQFi$ es un factor de equivalencia, de forma de estandarizar la productividad de las distintos tipos de tierras y países, quedando expresado en hectáreas globales de tierra (gha) (Borucke, 2011).

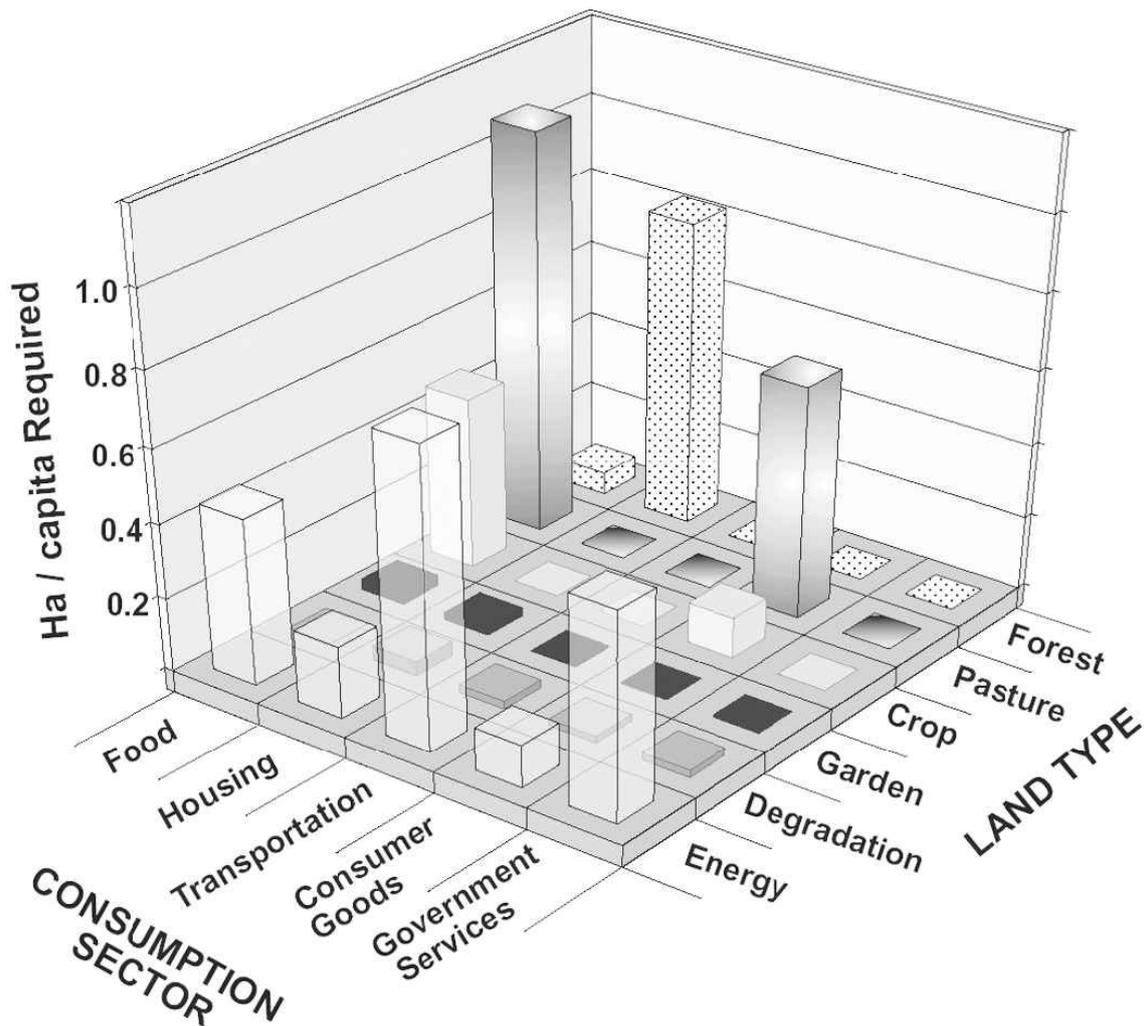


Figura 11: Matriz de Huella Ecológica.
Fuente: Daniels, 2002

MODELO DE ESPACIO MEDIOAMBIENTAL (ES)

El objetivo principal de ES, es de cuantificar o seguir el desarrollo sostenible por comparación de la demanda de recursos con el espacio ambiental disponible. Entiéndase como espacio ambiental, el espacio con límites inferior y superior a la faz de la tierra, donde se encuentran los recursos disponibles que pueden ser apropiados de manera sostenible por los seres humanos. Este método permite la cuantificación de recursos naturales involucrados en ciertas funciones de consumo, que pueden ser explotadas por los humanos por un período de tiempo (usualmente se considera un año), sin comprometer la cantidad y calidad a la que podrán tener acceso las futuras generaciones. Esto implica no sobrepasar los límites de regeneración de los recursos naturales, cuando corresponda, ni tampoco la capacidad de asimilación del medio ambiente de los desechos generados. El método intenta estudiar la

sostenibilidad de la energía, las materias primas, los recursos biológicos, la acumulación y asimilación de desechos, etc..

El espacio ambiental es definido como la máxima cantidad de materia primas no renovables, tierra y agua que se pueden extraer de la eco esfera de manera sostenible (FEE, 1996).

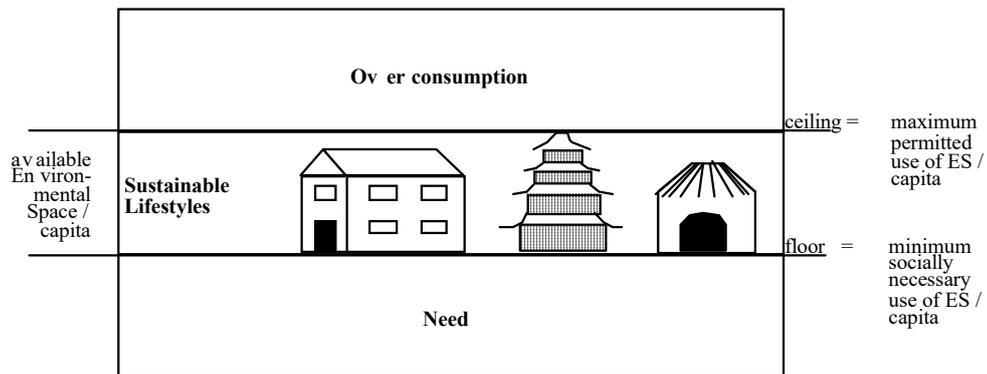


Figura 12: Esquema Espacio Medioambiental (Spangenberg, 1996)

Luego, dichos límites considerados como máximos, son comparados con las tasas de consumo de la región en consideración. En el caso de que los valores actuales sean superiores al espacio ambiental calculado, se pueden tomar medidas mitigatorias, de forma de mantener la sostenibilidad.

Este método tiene una lógica similar al EFA, ya que ambos identifican recursos que pueden ser explotados por humanos por un período de tiempo sin comprometer la cantidad y calidad disponible por generaciones posteriores. En el caso del EFA, el recurso es un tipo de tierra, mientras que en ES, es un recurso natural en forma general.

INTENSIDAD DE MATERIAL POR UNIDAD DE SERVICIO (MIPS).

Este método implica la identificación de una sola medida de masa total, de la entrada primaria de material y el requerimiento energético, de las salidas significativas de productos como infraestructura y entrega de servicios de una economía, como ejemplos se pueden citar autos, jugo de naranja, etc. El resultado final del procedimiento es expresado como el cociente entre la masa de material y energía y la medida física del beneficio obtenido del servicio entregado, el cual puede ser económico. Un ejemplo puede ser la cantidad de kilómetros y pasajeros transportados en la fabricación de automóviles. Esto es lo que se define como una intensidad del material involucrado en la provisión de un servicio y representa también una medida del impacto antropogénico o sobre el medio ambiente de la salida de una economía. La extensión

geográfica de los flujos medidos que involucran al producto en estudio, es global y toma una perspectiva de todo el ciclo de vida del producto, asociado con la producción, consumo, disposición, reciclaje y reutilización.

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (LCA)

Es una herramienta de diseño para la identificación del ciclo de vida desde la cuna a la tumba de un producto; identificando impactos ambientales en la creación, comercialización, transporte y distribución, operación y disposición. Se trata de un enfoque holístico, que considera flujos directos, ocultos, no comerciales de materiales, entradas intermedias, desechos, energía asociados con toda la existencia del producto.

INDICE DE SOSTENIBILIDAD DE PROCESO (SPI)

Se basa en el cálculo del área total de tierra requerida por una actividad económica para proveer de forma sostenible flujos materiales y energéticos y mantener la asimilación ambiental de desechos, durante el abastecimiento de un bien o servicio. Es una herramienta para evaluar la intensidad ecológica y la potencial sostenibilidad de uno o varios procesos o tecnologías que provean de productos o servicios. Como en la metodología EFA, una vez calculadas las demandas de materiales y energía del proceso en estudio y convertidas a superficie de tierra (por ejemplo metros cuadrados), los mismos son comparados con los flujos naturales y el abastecimiento ecológico productivo de tierra disponible. El objetivo de este indicador es el de evaluar la consistencia de un proceso o tecnología con los límites de sostenibilidad del medio ambiente; por lo tanto llevará a la identificación y selección de los procesos tecnológicos aceptables desde una concepción ecológica amigable con el medio ambiente.

2.2 ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS

Las técnicas presentan diferencias en varios aspectos. En primer lugar, en la extensión de la actividad económica considerada en el estudio, como generadora de los flujos de materiales y/o de energía (según la técnica). En segundo lugar, los límites espaciales y temporales del metabolismo urbano. En tercer lugar, el nivel de detalle que es necesario llegar en la descripción del proceso económico. Y, por último, el nivel de agregación de los flujos de materiales y a veces de energía, al cual es necesario llegar.

El autor Daniels, 2002 propone agrupar las técnicas en las que son esencialmente formas de MFA y las que no. Las que son estrictamente técnicas de MFA (Análisis de Flujo de Materiales), son aquellas que dado un área de estudio, se caracterizan por la medición de flujos másicos de forma sistemática, con propósitos de análisis o de monitoreo. Están muy vinculadas con el concepto de metabolismo urbano, en donde los intercambios entre la naturaleza y sociedad son estudiados como una dinámica de metabolismo biológico (Fischer-Kowalski, 1998). Dentro de este grupo se encuentran: TMRO, MFA-BIF y SFA.

En el otro lado se tiene los que se focalizan en aspectos microeconómicos, más que en descripciones generales de flujos másicos generados en una economía global: PIOT, LCA, MIPS.

Luego se puede distinguir un tercer grupo en el cual si bien tienen elementos genéricos de MFA, son técnicas ajustadas para un determinado objetivo: ES, EFA y SPI.

En la siguiente tabla se resumen las principales diferencias.

Característica	TMRO	MFA-BIF	PIOT	SFA	ES	EFA	MIPS	LCA	SPI
Extensión del sistema de producción	Toda actividad económica dentro de una región						Determinados bienes o servicios.		
Limites espaciales y temporales	Definidos en una región geográfica y en un determinado período de tiempo						Definidos en una región geográfica por el ciclo de vida de un producto.		
Flujos metabólicos									
Sustancias específicas	✓	✓	✓✓	✓✓✓				✓✓	✓
Material a granel	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓	✓
Energía	✓	✓	✓		✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓
Cambios de stock	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓					
Cobertura de elementos económicos									
Bienes económicos y servicios	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓✓	✓✓✓	✓
Procesos productivos			✓	✓	✓		✓	✓	✓✓✓
Entidad socioeconómica que induce los flujos	Economía nacional, regional	Economía nacional, regional, local	Industria, economía nacional	Economía nacional, regional, local	Economía nacional y global	Sector de consumo; economía nacional, regional	Servicio	Bien o servicio	Proceso
Escala geográfica	Nación, región	Nación región, local	Nación región	Nación, región	Nación	Nación, región	Nación	Nación	Región, nación
Límite temporal	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Ciclo de vida producto	Ciclo de vida producto	Ciclo de vida proceso
Unidad principal de medida	Tonelada	Tonelada, metro cúbico	Tonelada	Tonelada, metro cúbico	Joules, toneladas, hectáreas, metros cúbicos	Hectáreas	Toneladas	Joules, toneladas, hectáreas, metros cúbicos	Hectáreas
Balance de masa	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓✓			✓✓	✓	
Criterio de sostenibilidad	✓	✓	✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓	✓	✓✓✓

Tabla 2

- (✓) incluido en el método de forma parcial
- (✓✓) generalmente incluido en el método
- (✓✓✓) aspecto que define al procedimiento

En resumen, los métodos que hacen foco sobre algunos o pocos productos, LCA, MIPS y SPI, no parecen ser los más adecuados para tomarlos como referencia para trasladarlos para realizar la analogía con flujos energéticos (considerados como varias unidades), por el carácter holístico de la metodología de metabolismo urbano.

Por lo cual, dentro de los primeros seis enfoques, que por el hecho de que cubren la totalidad de la actividad económica, como generadora de los flujos de materiales y energía (en mayor o menor grado); pareciera que podría estar el método para realizar el análisis de contabilización de flujos de energía. Todos los métodos se aplican en una región geográfica en un determinado período de tiempo, lo cual es aplicable con el alcance espacial y temporal del metabolismo urbano; aspecto importante para el caso de la energía en donde se plantea la aplicación en un ambiente amplio y con tiempo prolongado.

El método que por simplicidad y por similitud a la estructura de un balance energético que es el más adecuado, para representar el conteo de flujos energéticos es el TMRO. Agregando elementos del MFA-BIF, como lo son la el concepto de balance de masa y consideración de pérdidas.

CAPÍTULO 3

3.1 MÉTODO PARA EL CONTEO DE FLUJO DE ENERGÍA

El concepto de conteo de flujos de energía (del inglés *Energy Flow Accounting*, EFA), como ya se mencionó es en definitiva la contabilización de flujos energéticos generados por las actividades socioeconómicas. Es por esto que los conceptos básicos de EFA serán los mismos que los del MFA, en donde la unidad de análisis de materia sea reemplazada por la energía, tal como se explicó en el punto anterior. Adicionalmente el EFA deberá incluir nociones de balances de energía, obviamente para poder realizar el seguimiento de la misma a través de la economía.

En la siguiente figura, se muestra un diagrama análogo del MFA de la figura 2, que contempla los conceptos del procedimiento TMRO, para los flujos energéticos.

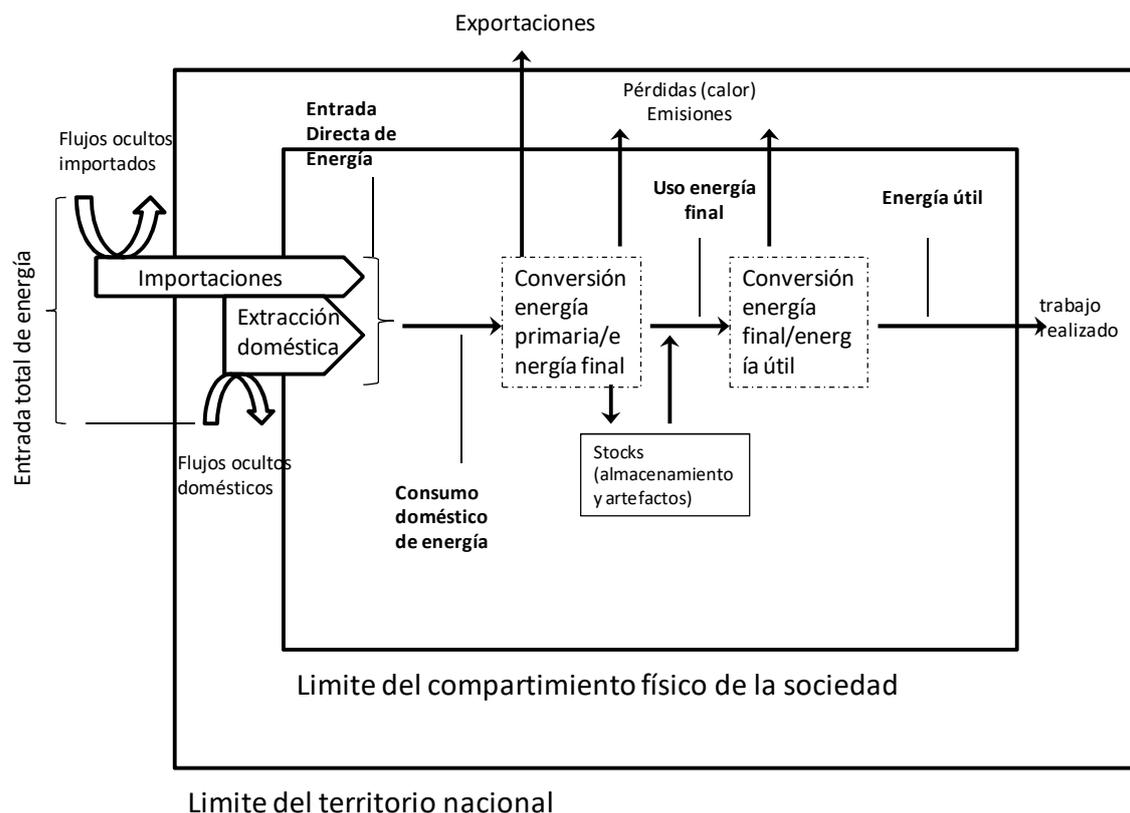


Figura 13: Esquema flujo de energía análogo a flujo de materiales. Fuente: Krausmann, 2002

La figura 13, representan un análisis a nivel regional. Es por eso que el volumen de control sociedad interactúa con el ámbito nacional. Sin embargo tal

como se explicó en el apartado 1.2.2, el estudio es aplicable a varios niveles: nacional, regional y unitario.

Para realizar el análisis de flujos de energía compatibles con TMRO, se define, en primer lugar, el equivalente al TMR (Requerimiento total de materiales) como la Entrada Total de Energía. Esta es la cantidad de energía integral entrando a la entidad socioeconómica, tanto por extracción doméstica como por importación, más los flujos ocultos domésticos e importados.

$$\text{Entrada Total de Energía} = \text{Extracción doméstica} + \text{importaciones} + \text{flujos ocultos}$$

Tomando en consideración el Balance Energético Nacional (BEN), este parámetro está mayoritariamente incluido dentro de la Oferta Bruta de Fuentes de Energía Primaria. Se deben además tener en consideración, aspectos como la importación de energéticos secundarios como lo es la energía eléctrica, que no figura dentro de la oferta de energía primaria pero sí dentro del BEN.

La extracción doméstica puede ser calculada como la suma de dos factores. Por un lado, la entrada de energía obtenida de las estadísticas energéticas, más todo el contenido energético de la biomasa forestada y cosechada en forma doméstica que entra a la economía. La biomasa, a su vez, puede ser extraída de estadísticas de agricultura y forestación, siendo transformada a flujos de energía usando el poder calorífico superior. Lo que muchas veces no se considera en biomasa es la pastura para el ganado, como se ha descrito anteriormente en enfoques profundos del tema debería ser considerado. Gran parte de la extracción doméstica está considerada dentro del BEN y en particular engloba a todo lo que tiene que ver con energías renovables, dado las características de los recursos nacionales. Dentro de ellas se encuentran hidroenergía, energía eólica y solar, biomasa y biocombustibles.

Como importaciones, se debería considerar las de todos los materiales que contienen energía. Esto es los energéticos y los materiales como madera, papel, comida, etc. El cálculo del contenido energético de estos materiales se podría realizar con el poder calorífico superior. Las importaciones de energéticos están todas incluidas dentro del BEN.

Y por último, los flujos ocultos, que deben ser considerados pueden ser domésticos o importados. Estos flujos son producidos simultáneamente con las importaciones y/o la extracción doméstica, mas no cruzan las fronteras del volumen de control en estudio. Este es el caso, por ejemplo, de la biomasa cosechada que no es utilizada y es devuelta al suelo.

En segundo lugar, el equivalente a la entrada directa de energía del TMRO, puede ser llamado Entrada Directa de Energía, definida como la entrada directa de energía al volumen de control en estudio. Este volumen de control puede ser un subsistema dentro de una entidad socioeconómica que lo contiene.

Luego, se observa en el diagrama, la línea de proceso que sigue la energía. Se tiene así el consumo doméstico de energía, el cual es la entrada directa de energía menos las exportaciones que se realicen por parte de la entidad socioeconómica. En el caso de Uruguay, si bien se trata de un país importador neto de energía, ha existido la exportación de combustibles producto del proceso de refinación, como así también de electricidad a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN) y en el último año se dio una pequeña exportación de biocombustibles.

También se observan dos instancias de conversión de energía, como lo son la conversión de energía primaria en energía final y la transformación de energía final en energía útil, teniendo ambos procesos sus respectivas pérdidas, así como también se detallan las distintas fases de consumo. En este esquema es considerado el aumento de reservas de energéticos, como también la generación de bienes a partir de materiales y energía.

$$\text{Consumo doméstico de energía} = \text{Entrada Total de Energía} - \text{Exportaciones}$$

Ya se ha hablado de flujos de energía que los balances no consideran y que en el enfoque de metabolismo deben ser considerados. Este es el caso de:

- 1) Provisión de potencia desde animales y humanos.
- 2) Flujo energético nutricional para humanos y animales.

La potencia producida por animales y humanos suele ser no significativa, dependiendo del caso de análisis. Por ejemplo, un individuo realizando trabajo duro puede entregar una potencia de 100 W en 8 horas de trabajo, es decir 0.8 kWh/día. Asumiendo 300 jornadas de trabajo al año, la energía entregada por un individuo es de 240 kWh/año.hab, o lo que equivale a menos de 1 GJ/año.hab, que si se compara con el consumo final de energía comercial de un individuo de un país industrializado, 100-200 GJ/año.hab, es una cifra poco significativa. Sin embargo, en el caso de Uruguay si se compara con la energía consumida por el sector comercial, servicios y sector público, para el año 2015, que fue de 299 ktep (DNE, 2015), lo que equivale, considerando una población de 3.5 millones, a 3.6 GJ/año.hab, la energía entregada por el trabajo humano pasa a no ser despreciable. Para el caso de la potencia entregada por animales, hoy en día en sociedades como la nuestra se puede considerar despreciable, sin embargo en el pasado los animales eran utilizados como medio de transporte y tracción, convirtiéndose en flujos energéticos mayores, de la misma forma como se vio en el apartado 1.2.3 (Krausmann, 2002)

Con respecto al flujo nutricional, una posibilidad, es identificar el proceso de conversión de energía más importante, para luego asignarlo a uno de los procesos de conversión del balance de energía (figura 3). Estos procesos pueden ser:

- 1) La conversión del forraje, consumido por los animales, tanto en carne, huevos, leche, como así también otros productos naturales como lana y cuero.
- 2) La conversión en potencia de la biomasa ingerida por los humanos y animales domésticos.

En general los balances de energía consideran dos procesos de conversión. Por un lado, la conversión de energía primaria en energía final y, por otro, la transformación de la energía final en energía útil. Para el metabolismo humano se puede considerar la comida ingerida por los humanos como energía final, por lo que la potencia obtenida de humanos es energía útil. Cabe destacar que entre un 20% y 30% del contenido energético por comida ingerida puede ser potencialmente transformado en trabajo (Krausmann, 2002). Otra forma de verlo es considerar el alimento como una energía intermedia, por lo que la potencia física humana en este caso sería energía final, convertida a energía útil a través de máquinas.

Con respecto a los animales existen varias teorías. Sin embargo el autor Helmut Haberl (Haberl, 2001a) recomienda considerarlos en la realización de dos procesos diferentes. Por un lado, el ganado como convertidores de energía nutricional, biomasa en comida para humanos, etc., o sea energía primaria en final. Y por otro lado, los animales domesticados como animales de trabajo transformando biomasa en potencia, energía útil.

3.2 CONVERSIÓN DE ENERGÍA Y CONTABILIZACIÓN DE FLUJOS ENERGÉTICOS

Los flujos de energía engloban procesos de conversión, como también transporte de energía (por ejemplo la transmisión de energía eléctrica) y de materiales ricos en energía (por ejemplo combustibles refinados del petróleo). Es por esto que el transporte de energía que involucre flujos de combustible debe ser considerado como flujos asociados al transporte de un material de determinado poder calorífico superior.

Hay algunas conversiones y transferencias menos sencillas. Tal es el caso del aprovechamiento de la energía hidráulica en una represa. Existen varias formas de considerarla. La primera y más utilizada es asignar a ese aprovechamiento de energía mecánica, la energía primaria equivalente a la electricidad generada (100% de rendimiento). Esta forma es utilizado por las Naciones Unidas en sus estudios estadísticos. Otra forma menos utilizada, consiste en considerar la eficiencia de la turbina y el generador.

Otro caso significativo es la energía nuclear. Una solución razonable, es calcular la energía primaria utilizada en la generación de energía eléctrica en plantas nucleares, considerando un rendimiento de planta del 43%, correspondiente a un ciclo Rankine simple (Paredes, 2015).

Por otro lado, un obstáculo que presentan las estadísticas energéticas es lo que se denomina, dentro de energía secundaria como “no energéticos”. Los mismos hacen referencia a derivados del crudo por síntesis química, por ejemplo: solventes, lubricantes, aceites, asfaltos etc. “No energéticos” significa que un material energético es usado para un propósito no asociado a un flujo de energía porque parte o todo el contenido energético del mismo queda en el producto. Estos flujos pueden o no ser incluidos. En algunas situaciones puede llegar a ser más complicado, por ejemplo, cuando se realiza el aprovechamiento de energía con la incineración de materiales sintéticos desechados, producidos de combustibles fósiles (puede ser el caso del aprovechamiento energético de fondos de tanques de combustibles o lastres de barcos); en este caso se debe ser cuidadoso de forma de no contabilizar dos veces el material.

Los materiales no energéticos y la energía contenida en un material por su poder calorífico superior, podrían considerarse como una entrada y salida extra del balance. Así, por un lado, quedan identificados los materiales no energéticos y, en el otro caso, queda ilustrada la potencial energía utilizable en el caso de que la tecnología lo permita. Esto es válido para el energético que lo permita, a través de tecnologías de recuperación de ese calor latente.

En la siguiente tabla se muestran los poderes caloríficos superior (PCS) e inferior (PCI) de algunos energéticos, publicados en el balance energético nacional 2015 (BEN, 2015)

Energético	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)	Diferencia (kcal/kg)
Aserrín, chips, residuos forestales (*)	2466	2219	247
Fuel oil calefacción	10334	9757	577
Fuel oil pesado	10200	9690	510
Gasoil 50S	10876	10209	667
Gasolina super 95 30S	11177	10443	734
Licor negro (*)	3350	3015	335
Petróleo crudo	10821	10161	660
Queroseno	11057	10350	707
LPG	11870	10930	940
Bagazo (*)	2611	2350	261
Cáscara de arroz (*)	3000	2700	300
Gas natural	15000	13387	1613
Leña (*)	3000	2700	300

(*) PCS estimados

Tabla 3. Fuente DNE 2015

Se observa que la diferencia entre el PCS y el PCI varía entre los combustibles en función del contenido de hidrógeno de cada uno y la consiguiente formación de agua en la combustión. Para el caso de los combustibles con PCS estimados, la IEA recomienda que el PCS puede calcularse considerando que existe una diferencia aproximada del 10% entre ambos (IEA, 2014).

Por otro lado, se puede ver la potencialidad de uso de esta energía latente en la matriz de insumos para la generación de energía eléctrica nacional para el año 2015, la misma se muestra en la figura 14.

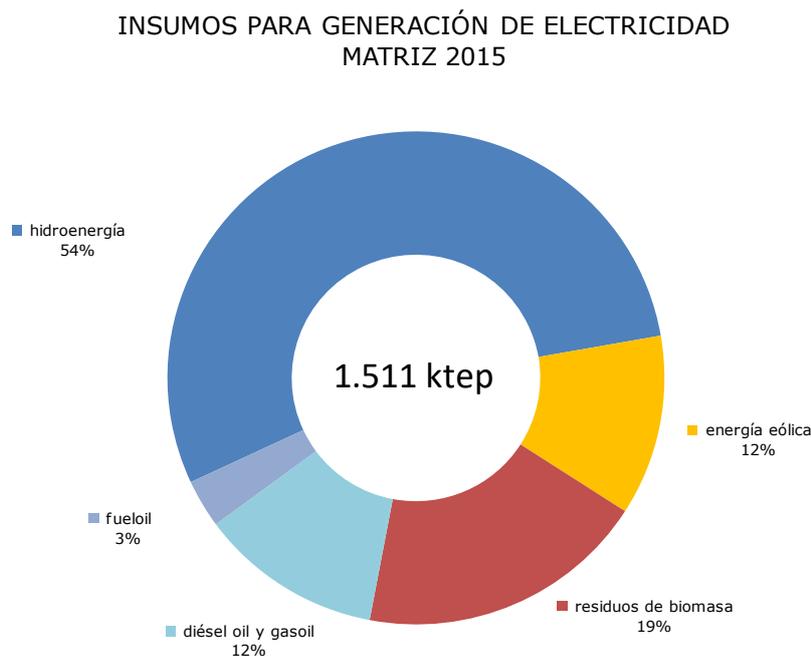


Figura 14: Insumos matriz de generación eléctrica (BEN 2015)

El año 2015, presentó muy buena hidraulicidad y la participación de la generación térmica representó el 34% de la matriz de generación. Para el caso de la generación térmica que le pertenece a UTE (calderas, motores y turbogeneradores), la misma utiliza como energéticos el fuel oil y gas oil. Estos combustibles, según la tabla 3, tienen un 5% y 6% disponible de saldo energético a ser aprovechado con una tecnología de recuperación del calor de condensación.

En conclusión, los materiales ricos en energía deben ser considerados como flujos energéticos, porque finalmente terminarán siendo usados con fines energéticos. Sí se pueden excluir flujos de materiales para la construcción, como pueden ser la madera, ya que la misma no será quemada hasta no cumplir el ciclo de vida como material de construcción, lo que puede llegar a ser décadas.

Como ya se mencionó, el objetivo de estudio es analizar en especial los aspectos energéticos, teniendo en cuenta que la herramienta de metabolismo urbano considera los materiales y los energéticos como vectores de estudio. Es por ello que los materiales a considerar serán aquellos que son significativos desde el punto de vista energético. Entre ellos se pueden encontrar residuos de biomasa, productos petroquímicos.

CAPÍTULO 4

4.1. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología de cálculo elaborada en base a los antecedentes presentados en los capítulos 2 y 3 a los efectos de evaluar los efectos del consumo energético sobre el Metabolismo Urbano. Esta metodología será aplicada a un caso particular, lo cual se presenta en el capítulo 5.

En la figura 15 se muestran los parámetros incluidos en la metodología propuesta y que deberían ser estimados para evaluar el efecto del consumo de energía.

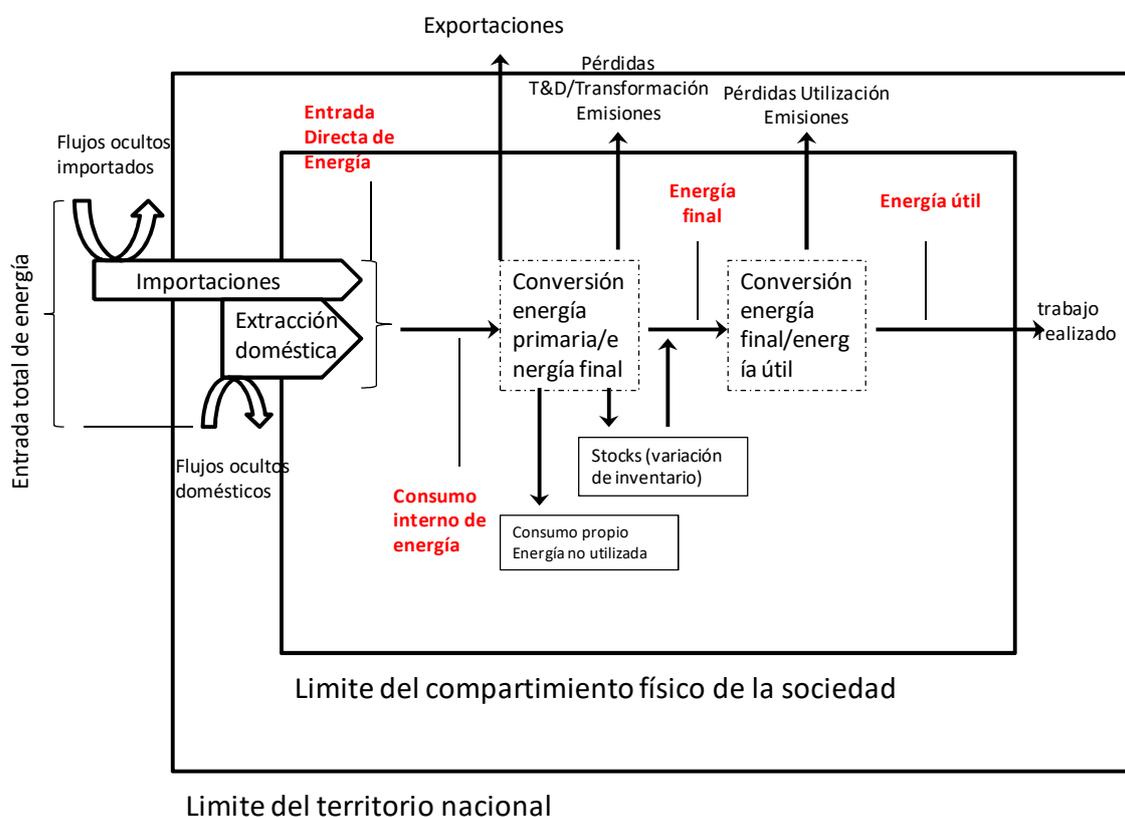


Figura 15: Esquema flujo de energía.

Los parámetros a calcular correspondientes al diagrama anterior son:

- La entrada directa de energía, para ello será necesario calcular:
 - Las importaciones de energéticos
 - La extracción (extracción doméstica) local de energéticos.
- El consumo interno de energía, para lo cual se calculará:
 - Las exportaciones

- La energía final, para lo cual se deberá calcular:
 - Las pérdidas de transmisión y distribución (T&D) de energía primaria y secundaria
 - Las pérdidas de transformación de energía primaria a secundaria.
 - La energía no utilizada y variación de inventario de energía primaria y secundaria
 - El consumo propio de energía primaria y secundaria.
- La energía útil, para ello se deberán estimar las pérdidas de utilización.

En general, los datos necesarios para calcular los datos anteriores, provendrán de balances energéticos.

En dichos balances y en línea con la expresión de resultados de organismos internacionales, la unidad energética utilizada es el tep, miles de toneladas equivalentes de petróleo.

$$1 \text{ tep} = 10.000.000 \text{ kcal}$$

Para los energéticos que corresponda, la conversión a dicha unidad se realiza a través de su respectivo Poder Calorífico Inferior (PCI).

En el caso de la electricidad se aplica el factor de equivalencia:

$$1 \text{ tep} = 11,630 \text{ MWh}$$

Una vez realizados los cálculos correspondientes se realiza para las fuentes que correspondan, el cálculo del contenido energético latente. Lo cual se realiza a través del poder calorífico superior, tal como se explicó en capítulos anteriores.

En este planteo merece un especial destaque la consideración de las pérdidas de energía, las cuales tendrán un efecto no sólo sobre el consumo total sino también sobre el ambiente. En particular, estas pérdidas pueden tener asociados residuos sólidos, efluentes líquidos o emisiones atmosféricas que agregan efecto sobre el ambiente.

ENTRADA DIRECTA DE ENERGÍA:

Es la suma de las importaciones de energía primaria y secundaria que entran al volumen de control y de la energía primaria obtenida dentro del volumen de control:

$$\begin{aligned} & \textit{Entrada Directa de Energía} \\ & = \textit{Importaciones} + \textit{Extracción doméstica de energía} \end{aligned}$$

CONSUMO INTERNO DE ENERGÍA

El consumo interno de energía, se define como la entrada directa de energía menos las exportaciones. Se trata del consumo que se da dentro del volumen de control y es de energía primaria y secundaria.

$$\text{Consumo interno de energía} = \text{Entrada Directa de Energía} - \text{Exportaciones}$$

ENERGÍA FINAL

La energía final es la energía comercializada a los consumidores finales. Se calcula como:

$$\text{Energía Final} = \left[\begin{array}{c} + \text{Entrda Directa Energía} \\ - \text{Exportaciones} \\ - \text{Pérdidas T \& D} \\ - \text{Pérdidas Transformación} \\ + \text{Variación Inventario Y energía No Utilizada} \\ - \text{Consumo Pr opio Sistema Energético} \end{array} \right]$$

En este ítem es necesario calcular las pérdidas T&D, las pérdidas de transformación, la variación de inventario y energía no utilizada y el consumo energético propio.

En primer lugar, las pérdidas de transmisión y distribución suelen estar discriminadas para cada energético en la fuente de información correspondiente, tanto primario, como secundario. La suma de las mismas es la totalidad de las pérdidas.

En segundo lugar, se deben conocer las pérdidas de transformación de energía primaria a secundaria. Se trata de las pérdidas ocurridas en el proceso de transformación de energía primaria a secundaria. Ejemplos de estos centros de transformación, tal como se mencionó en capítulos anteriores, son refinerías, centros de generación de energía eléctrica y centrales atómicas, entre otras. En este caso o bien las pérdidas son proporcionadas por la fuente de información, o bien calculadas como la diferencia entre la energía entrante y saliente.

La variación de inventario y energía no utilizada corresponde tanto a energéticos primarios como secundarios. En el caso de la variación de inventario, el signo del término en la ecuación anterior define implícitamente la variación como la diferencia entre el inventario en el tiempo inicial y el inventario final. Esto significa, por ejemplo, que un aumento de inventario,

significa un aporte negativo a la energía final. Por otro lado, la energía no utilizada, la cual es la energía que por naturaleza técnica y/o económica actualmente no está siendo utilizada en la ecuación anterior tiene signo negativo, descontando a la energía final.

Por último, el consumo propio del sistema, que constituye la cantidad de energía primaria y/o secundaria que el propio sector energético utiliza para su funcionamiento esto es la producción, transformación, transporte y distribución de energía.

ENERGÍA ÚTIL

Para el cálculo de la energía útil es necesario aplicar factores de eficiencia de utilización de energía final, los cuales dependerán del uso del energético y de la tecnología utilizada en el suministro del servicio energético como puede ser, calor, potencia o iluminación.

En muchos casos estos rendimientos pueden estar informados en bibliografía, o recabadas con estudios de campo o investigaciones y también pueden ser estimaciones.

Finalmente, con el objetivo de la aplicación de la metodología de metabolismo urbano, los flujos de todos los energéticos que correspondan se transforman, desde flujos cuyo contenido energético es el proveniente de la consideración del PCI, a flujos en los cuales la energía esté dada por el PCS. Esto se realiza mediante la multiplicación de cada uno de los flujos por el cociente PCS/PCI. Esta transformación es aplicable para todos los combustibles con excepción de las energías renovables eólica, solar, hidroenergía y la energía eléctrica.

EMISIONES.

Se trata de un parámetro importante, a través del cual se da la interrelación del consumo de energía entre el ambiente, la sociedad y la economía. Las emisiones pueden ser gaseosas, líquidas o sólidas.

Se calculan por ponderación con factores de emisión con la corriente generadora. Dichos factores podrán ser empíricos, bibliográficos, o resultado de investigaciones, como por ejemplo Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC; o la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA.

ENERGÍA NUTRICIONAL

Es la energía involucrada en el consumo de alimentos para seres humanos como así también para animales utilizados en tracción a sangre y en alimentación. Notar que no aparece en la figura 15 por simplificación.

Para el caso de humanos se calcula mediante la estimación de una ingesta calórica por persona. Luego se puede estimar la potencia humana entregada con factores de utilización de la energía ingerida y horas de trabajo (Wilson, 1995).

Dadas las consecuencias positivas y negativas que puede tener el consumo de energía en el funcionamiento de la sociedad, los efectos del metabolismo energético se suelen analizar a través del cálculo de algunos indicadores como los que se mencionaron en el capítulo 1, entre lo que se destacaron PBI per cápita, autarquía energética, robustez, productividad energética, uso de energías renovables, energía per cápita. Estos indicadores se extraen de los balances y del metabolismo urbano sumado a indicadores económicos. Asimismo, a través de ellos se podrá estudiar la sostenibilidad del sistema.

CAPÍTULO 5

5.1. APLICABILIDAD DE LA HERRAMIENTA METABOLISMO URBANO EN EL URUGUAY.

Para estudiar la adecuación de la herramienta en nuestro país, se considera, como ejercicio, que el propio país conforme el volumen de control en estudio. O sea que los límites geográficos constituyen los bordes a través de los cuales se consideran los flujos energéticos en estudio. Si bien la herramienta hace referencia a un análisis local (urbano), es aplicable con otros alcances, como puede ser un país. Cuando se aplica a ciudades, tal como hace referencia el nombre, la información debe estar desagregada, tal como se mencionó en el apartado 1.2.2.

En el caso de Uruguay como volumen de control, hay ventajas desde el punto de vista de la información disponible, existente y relevada por organismos oficiales. Asimismo, si bien hay particularidades locales en lo que puede ser las distintas ciudades y el medio rural, por tratarse de un país pequeño, se considerará para la aplicación de la herramienta, que los resultados son representativos de todo el país.

Muchas veces el cuello de botella de la aplicación de una herramienta con algún grado de estandarización, es la recopilación de la información necesaria; o bien la adaptación de los datos existentes al formato necesario.

Nuestro país, si bien se trata de un país pequeño, existe diversificación de organismos que monitorean a través de la recolección de datos, diferentes aspectos de la sociedad.

En la siguiente tabla se muestran fuentes de información a las cuales se puede recurrir para el cálculo de los parámetros del metabolismo urbano, para el caso de Uruguay.

ELEMENTO	DESGLOSE	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	FUENTE	ORGANISMO
Entrada total de energía	Extracción doméstica	Hidroenergía		BEN	DNE
		Energía eólica		BEN	DNE
		Energía solar		BEN	DNE
		Leña		BEN	DNE
		Otra biomasa	Biomasa, licor negro, cáscara de arroz, bagazo de caña.	BEN, informes agrícolas	DNE, MGAP
		Biocombustibles		BEN	DNE
	Importaciones	Petróleo y derivados		BEN	DNE

		Energía eléctrica		BEN	DNE
		Gas natural		BEN	DNE
		Carbón		BEN	DNE
		Materiales (comida, madera, papel, petroquímicos)		Estadísticas estatales	MGAP (comida, madera) MIEM (papel) MEF (otros)
	Flujos ocultos			Estimaciones bibliográficas. Informes.	MGAP
Exportaciones		Energéticos		BEN, otras estadísticas	DNE Organismos estatales (UTE, ANCAP, MIEM)
Energía final	Energéticos		Organismos estatales (UTE, ANCAP, MIEM, Intendencias)		
Energía útil				Estimaciones. Investigaciones	UDELAR
	Pérdidas			Estimaciones bibliográficas, estudios específicos	UDELAR
	Emisiones		Gaseosas, líquidas, sólidas.	Investigaciones. Informes. Estimaciones bibliográficas	UDELAR, MVOTMA (DINAMA), Intendencias
	Otra información		PBI, población		BCU, INE

Tabla 4

En lo que respecta al cálculo de los parámetros descritos en el capítulo anterior y para el caso de aplicación en este capítulo, casi la totalidad de la información requerida para el cálculo de los parámetros descritos en el capítulo anterior, se extrae del Balance Energético Nacional, elaborado por la Dirección Nacional de Energía. En cuanto al aspecto de los rendimientos de utilización de energía final se utiliza la información existente en el "Estudio de base para el diseño de estrategias y políticas energéticas: relevamiento de consumos de energía sectoriales en términos de energía útil a nivel nacional", elaborado por Fundación Bariloche y el Programa de Estudios e Investigaciones en Energía de Chile como consultores para la DNE.

A continuación se detallarán la confección de los parámetros que se calcularán para el estudio de la aplicación de herramienta metabolismo urbano (ver figura 15).

ENTRADA DIRECTA DE ENERGÍA

Los datos para el cálculo de la entrada directa de energía, se encuentra dentro del BEN en las tablas dedicadas para cada una de las fuentes de energía, tanto primarias como secundarias.

Los energéticos que conforman la entrada directa de energía para el caso de Uruguay se muestran en la siguiente figura:

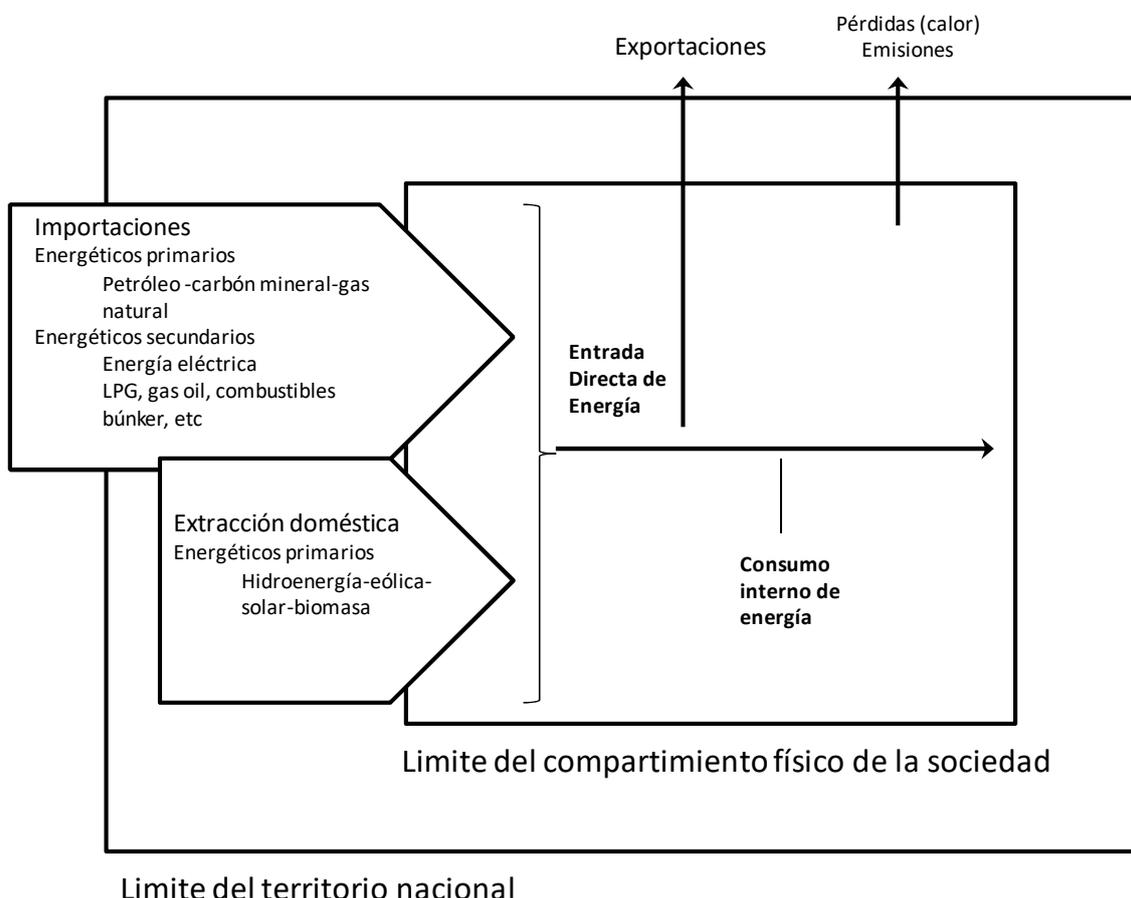


Figura 16: Entrada Directa de Energía.

Para los energéticos cuyo flujo fue calculado en el BEN respecto al PCI (energéticos primarios y secundarios fósiles y biomasa), se realiza la equivalencia con el PCS.

CONSUMO INTERNO DE ENERGÍA

Para el caso del consumo interno de energía, tal como se definió anteriormente es la entrada directa de energía menos las exportaciones. Como exportaciones se consideran las exportaciones propiamente dichas de energéticos y las ventas de mercado búnker internacional ya que, a partir del año 2013, lo que antes era exportación para el mercado búnker, se expresa en el BEN como búnker internacional (caso gas oil búnker, fuel oil intermedio (IFO), turbocombustible jet)

Las exportaciones de cada energético se encuentran detalladas dentro del BEN, en la tabla dedicada a cada una de las fuentes de energía tanto, primarias, como secundarias. Es importante aclarar que las exportaciones a zona franca, como es el caso de las papeleras, el BEN las considera como mercado interno

Para los energéticos cuyo flujo fue calculado en el BEN respecto al PCI (derivados del petróleo), se realiza la equivalencia con el PCS.

ENERGÍA FINAL

En primer lugar, dentro de los componentes de la energía final, las pérdidas de transmisión y distribución se encuentran en las tablas dedicadas dentro del BEN para cada uno de los energéticos, tanto primarios y secundarios. El total de las pérdidas será la suma de cada una de las individuales.

En segundo lugar, las pérdidas de transformación se calculan como la energía que entra a cada centro de transformación, menos la energía que sale del mismo. Como centros de transformación dentro del sistema energético nacional se distinguen: Refinería; centrales eléctricas de servicio público en donde se encuentran las centrales hidroeléctricas, eólicas, térmicas; centrales eléctricas de autoproducción en donde se encuentran las centrales que generan electricidad para consumo propio y también proporcionan a la red; plantas de producción de biocombustibles: destilería de biomasa y planta de biodiesel.

En lo que respecta a la variación de inventario y la energía no utilizada, la información se encuentra en cada una de las tablas de cada fuente energética. La energía no utilizada también se encuentra en la tabla de cada una de las fuentes energéticas dentro del BEN.

En este ítem también se considera el término "ajustes" proveniente del BEN, el cual se trata de un ajuste estadístico que permite el balancear oferta con consumo.

Por último, el consumo propio del sistema, se encuentra en cada una de las tablas de las fuentes energéticas del BEN.

Para todos los flujos anteriores, que fueron calculados con el PCI dentro del BEN, se realiza la equivalencia energética con el PCS.

ENERGÍA UTIL

Para el cálculo de la transformación de energía final en energía útil, se utilizaron los rendimientos de utilización recabados del trabajo *"Estudios de base para el diseño de estrategias y políticas energéticas: relevamiento de consumos de energía sectoriales en términos de energía útil a nivel nacional"*. Se trata de un trabajo realizado en conjunto por la Dirección Nacional de

Energía, la Fundación Bariloche y la universidad de Chile. La metodología utilizada fue la realización de encuestas de consumo de energía neta y útil, por fuente y uso, equipamiento disponible y modalidad de uso. El trabajo está desagregado en ocho sectores: residencial, industrial, comercial y servicios, agropecuario, minería, pesca, construcción y transporte. Las actividades de campo se realizaron entre el año 2007 y 2009. En dicho trabajo se presenta el rendimiento de utilización de cada energético, ponderando los usos energéticos del mismo.

Las fuentes energéticas cuyos consumos fueron relevados en los distintos sectores son:

Fuente Energética	Abreviación
Carbón Mineral	CM
Carbón Residual de Petróleo	RP
Coque	CQ
Diesel Oil	DO
Electricidad	EE
Energía Eólica	EO
Energía Solar	SO
Fuel Oil (calefacción y pesado)	FO
Gas Natural	GN
Gas Oil	GO
Gas Propano	GP
Leña	LE
Nafta	NF
Queroseno	KE
Residuos de Biomasa	RB
Supergás	SG

Tabla 5. Fuente: (Fundación Bariloche, 2008)

Los rendimientos de utilización para cada sector, producto del trabajo de relevamiento mencionado anteriormente, se describen a continuación.

Sector transporte:

Rendimientos de utilización	
Vehículos motores ciclo Otto	18,0%
Vehículos motores Diesel	24,0%
Ferrocarriles	27,0%
Marítimo Fluvial	41,0%
Aéreo	24,0%

Tabla 6: Rendimientos sector transporte (Fundación Bariloche, 2008)

Sector industrial:

Cuadro 5.1.7
Sector Industrial
Rendimientos de Utilización por Fuentes y Usos
Año 2006 – en Tep

Usos	GN	LE	RB	CM	SG	GP	NF	KE	DO	GO	FO	RP	CQ	EE	Total
Iluminación														21,4	21,4
Generación de Vapor	81,2	80,9	82,1		80,0	85,2			84,0	80,5	81,9			90,0	81,4
Cogeneración de Vapor	85,0	85,0	85,0								85,0				85,0
Otras Calderas	85,0	80,7	85,0		85,0	85,0				84,1	85,7			90,0	82,8
Calor Directo	55,7	46,8	42,2	50,0	56,5	64,2			80,0	53,5	43,9	50,0	63,2	65,4	50,2
Fuerza Motriz		80,7	80,7											87,3	87,3
Frío de Proceso														57,3	57,3
Transporte Interno					18,0	18,0	18,0		25,0	26,0				87,7	33,1
Electroquímicos														40,0	40,0
Usos No Productivos	75,0	75,0			74,9	75,0	18,0		75,0	68,7	75,0			78,3	75,9
Total	67,1	74,3	76,4	50,0	72,6	66,1	18,0		62,1	35,2	71,1	50,0	63,2	75,9	71,6

Tabla 7: Rendimientos sector industrial (Fundación Bariloche, 2008)

Sector residencial:

Cuadro 5.1.7
Sector Residencial
Rendimientos de Utilización por Fuentes y Usos
Año 2006 – en %

Usos	GN	SG	GP	GO	DO	FO	KE	LE	CV	NF	EO	RB	EE	Total
Iluminación		3,0					2,0						6,9	6,9
Cocción	50,0	45,0	45,0				35,0	9,7	15,5			12,2	80,0	26,4
Calentamiento de Agua	50,0	45,0	45,0	52,3		60,0	35,0	21,4				17,6	94,3	81,7
Calefacción	62,1	45,6	45,0	60,0	60,0	60,0	39,7	11,8	10,0			10,9	93,1	20,4
Conservación de Alimentos		8,0											80,0	79,8
Refrigeración y Ventilación													85,7	85,7
Bombeo de Agua											15,0		80,0	75,6
Fuerza Motriz													90,0	90,0
Otros Artefactos								20,0		18,0			78,6	78,4
TOTAL	53,3	45,0	45,0	58,2	60,0	60,0	34,2	11,4	15,0	18,0	15,0	12,1	74,8	41,7

Tabla 8: Rendimientos sector residencial (Fundación Bariloche, 2008)

Sector comercial y servicios:

Cuadro 5.1.7
Sector Comercial y Servicios
Rendimientos de Utilización por Fuentes y Usos
Año 2006 – %

Usos	GN	SG	GP	KE	NF	GO	DO	FO Cal	FO Pes	LE	EE	Total
Iluminación		2,5		1,8							21,6	21,6
Cocción	49,5	48,8	50,0			45,6				8,6	77,3	36,8
Calentamiento de Agua	52,9	48,4	54,7			38,6	58,0	56,4	57,1	40,8	89,1	60,1
Calefacción	58,6	46,3	45,0	40,0		57,6	58,0	56,8	58,0	11,9	83,0	61,7
Conservación de Alimentos				6,0							79,5	79,4
Refrigeración y Ventilación											80,2	80,2
Bombeo de Agua						17,0					81,0	81,0
Fuerza Motriz Fija											71,5	71,5
Otros Artefactos Eléctricos											84,5	84,5
Otros Artefactos a Comb.	47,7	16,9	44,5		16,7	31,0	48,0	37,8				40,8
Máquinas Herramientas											63,0	63,0
Transporte Interno					18,0	24,0					75,0	34,5
TOTAL	51,9	48,2	49,9	36,8	17,6	37,2	57,5	55,7	57,4	14,5	64,2	58,3

Tabla 9: Rendimientos sector comercial y servicios (Fundación Bariloche, 2008)

Sector agropecuario:

Cuadro 5.1.7
Total Agropecuario
Rendimientos de Utilización por Fuentes y Usos
Año Agrícola 2007 - en %

Usos	LE	RB	SO	EO	SG	NF	KE	GO	EE	Total
Iluminación									15,2	15,2
Calor	46,7		18,0		50,0		50,0	50,0	95,0	45,1
Fuerza Motriz Móvil					18,0	18,0	18,0	27,2		27,2
Fuerza Motriz Fija						18,0		28,0	83,3	49,6
Frío de Proceso									53,7	53,7
Riego y Bombeo				15,0		18,0		29,3	90,2	59,5
Viviendas Colectivas	14,4	30,2			37,6		4,6		81,8	26,8
Total	40,2	30,2	18,0	15,0	44,6	18,0	23,0	27,3	66,6	34,6

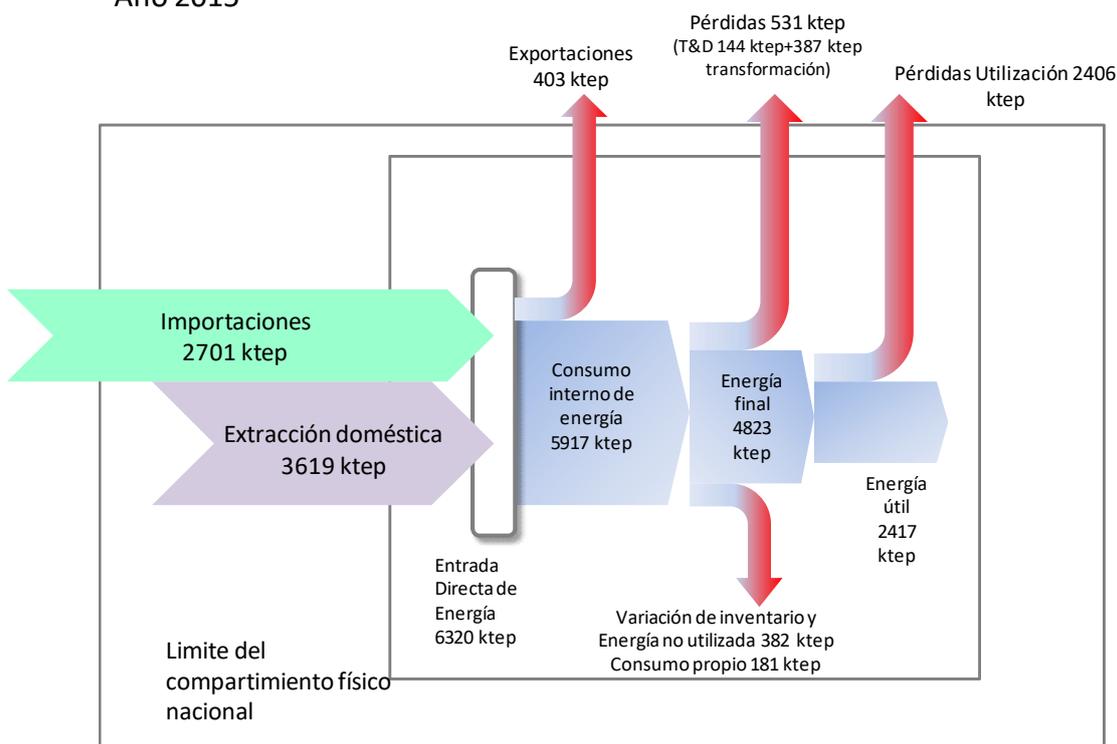
Tabla 10: Rendimientos sector agropecuario (Fundación Bariloche, 2008)

Los factores de rendimiento de este sector, se toman como simplificación de todo el sector de consumo agro/pesca/minería del BEN.

En el anexo I se presentan los resultados de los flujos energéticos: extracción doméstica, las importaciones, la entrada directa de energía, exportaciones, consumo interno y energía final para 15 años durante el deca-lustro comprendido entre 1965 y 2015. Dichos resultados son producto de la aplicación del procedimiento detallado en el capítulo 5.

En base a los resultados anteriores se muestra en la siguiente figura el flujo de energía de Uruguay, correspondiente al año 2015.

Flujo de Energía Uruguay. Año 2015



Limite exterior al territorio nacional

Figura 17: Flujo de energía nacional. Año 2015 (elaboración propia Anexo 1)

En la siguiente tabla se resumen las pérdidas de energía para el año 2015, según el cálculo explicado en el capítulo 5, junto con algunos rendimientos del sistema energético.

	Energía (ktep)	% de Consumo interno de energía
Consumo interno de Energía	5917	100%
Energía No utilizada	311	5,2%
Pérdidas T&D	144	2,4%
Pérdidas Transformación	387	6,5%
Energía Final	4823	81,5%
Pérdidas Utilización	2406	40,7%
Energía útil	2417	40,9%
Rendimiento de Consumo (útil/final)		50,1%
Rendimiento del Sistema		40,9%

Tabla 11: Pérdidas energéticas. Año 2015. Elaboración propia.

Cabe señalar, que tal como se observa en la figura 17, en el proceso desde el consumo interno de energía a la energía final, hay dos factores adicionales a las pérdidas que son la variación de inventario y el consumo propio de energía, los cuales no figuran en la tabla 11.

Las primeras tres pérdidas señaladas en la tabla 11, energía no utilizada, pérdidas T&D y de transformación, son menores de magnitud respecto a las de utilización.

Obsérvese la magnitud de la energía no utilizada, frente a las pérdidas de T&D y transformación. En el caso de matrices energéticas con gran participación de energía hidráulica como la nuestra se trata mayormente de agua vertida. Dicha operación tiene impactos sobre, la sociedad y el ambiente importantes que es necesario sopesar fuera del balance. Se trata de la gestión de los embalses de la represa la cual está relacionada con la extensión del espejo de agua, ubicado aguas arriba, como así también del caudal del curso de agua, aguas abajo. El vertimiento puede ser utilizado para garantizar la estructura hidráulica al no permitir la elevación de nivel, debido a que el embalse de agua está lleno. Y esto a su vez está vinculado con afectación a las construcciones más cercanas al curso por inundaciones.

En el gráfico 18 se muestra la evolución del consumo interno de energía, para el período de estudio en dos escenarios. Uno correspondiente al consumo total interno con enfoque que se desprende del BEN (línea negra punteada) y otro discriminado por fuente con los flujos energéticos del BEN, pero considerando el poder calorífico superior, en los casos que corresponda. Esta consideración se realizó para todos los aplicables; esto es combustibles fósiles primarios y secundarios y sobre combustibles renovables como lo son leña, residuo de biomasa y biomasa para biocombustibles.

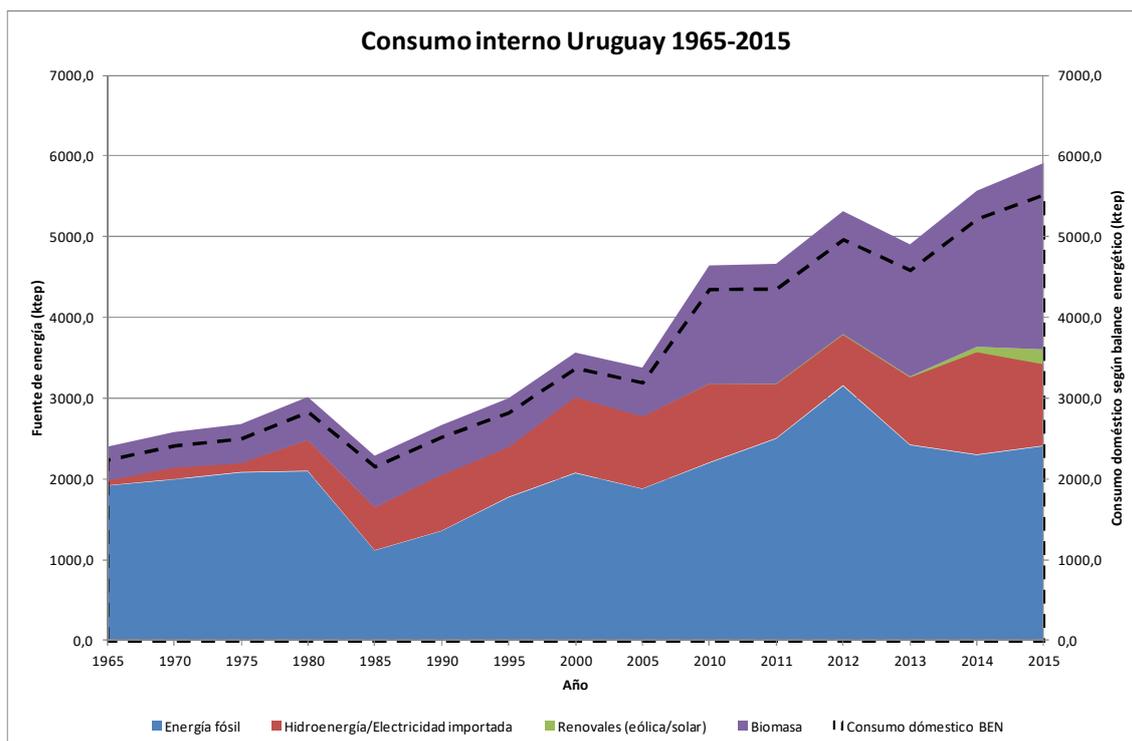


Figura 18: Consumo interno Uruguay 1965-2015

Por último y con el fin de estimar la energía nutricional, se considera un requerimiento energético diario promedio para habitantes de países en desarrollo de entre 1720 y 1960 kcal/d para mantener el metabolismo basal y una actividad ligera (FAO, 2002). Por lo cual tomando un valor de 2000 kcal/d, equivale a un requerimiento anual de 730.000 kcal/persona.año. La población de Uruguay del año 2015 según el INE, es de 3.467.054 habitantes, por lo que la energía nutricional se puede estimar en 253 ktep/año. Es claro que la energía primaria equivalente en biomasa y proteína animal es mayor al anterior, sin embargo seguirá siendo poco significativa frente a los demás factores. Según bibliografía un tercio de lo equivalente en energía primaria es perdido durante la elaboración de los alimentos (Krausmann, 2002)

5.2. SEGUIMIENTO DE LA SOSTENIBILIDAD

En lo que concierne al cálculo de indicadores, como forma de seguimiento de la sostenibilidad, el BEN realizado por la DNE calcula alguno de los indicadores mencionados en el capítulo 1, los cuales se detallan en la siguiente tabla 12.

Dentro del capítulo 1, se describieron diversos indicadores para el estudio de la sensibilidad. Sin embargo, en lo que respecta a la aplicación de la herramienta como ejercicio de este trabajo de tesis, se utilizarán los disponibles en el BEN.

	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
consumo final total/PIB (tep/M\$ 2005)								6,0	5,7	6,3	6,2	6,1	6,1	6,2	6,6
consumo per cápita (tep/1000 hab)	637	651	663	721	591	625	703	755	718	1.058	1.084	1.096	1.149	1.208	1.292
consumo electricidad per cápita (kWh/hab)	512	635	714	954	1.048	1.225	1.553	1.917	1.931	2.645	2.727	2.796	2.864	2.933	3.039
emisiones CO ₂ /PIB (t/M\$ 2005)								12,4	12,1	10,5	12,1	13,3	10,9	9,3	9,4
emisiones CO ₂ per cápita (t/hab)						1,2	1,4	1,6	1,5	1,8	2,1	2,4	2,0	1,8	1,8
tasa de electrificación (%)										99,3%	99,3%	99,6%	99,6%	99,7%	99,7%
PIB (M\$ 2005)								421.157	425.018	567.742	597.050	618.174	646.842	667.792	674.352

Tabla 12: Indicadores. Fuente BEN

La intensidad energética se mantuvo relativamente constante desde el año 2000 al 2014 producto del aumento del PBI y el consumo de energía a las mismas tasas, con excepción del mínimo que se dio en el año 2005. Sin embargo en el año 2015 se dio el máximo de la serie considerada, siendo ese valor 6,6 tep/M\$2005, resultado de un aumento significativo del consumo de energía respecto al del PBI, por lo que se habría tenido una reducción del rendimiento del sistema.

En el siguiente gráfico se observa cómo a partir del año 2013, la tasa de aumento de PBI pasa a ser menor, lo que explica el aumento de la intensidad energética. Ahora bien, las razones de ese cambio de tendencia respecto a la historia reciente, es debido al aumento del consumo del sector industrial frente al que se dio en el sector transporte, dado que residencial, comercial y agro se mantienen relativamente constantes. Esto puede ser debido a un aumento del aparato industrial. El sector industrial aumentó su consumo en los últimos 3 años, un 14% de promedio anual, frente a un 4% en promedio del sector transporte.

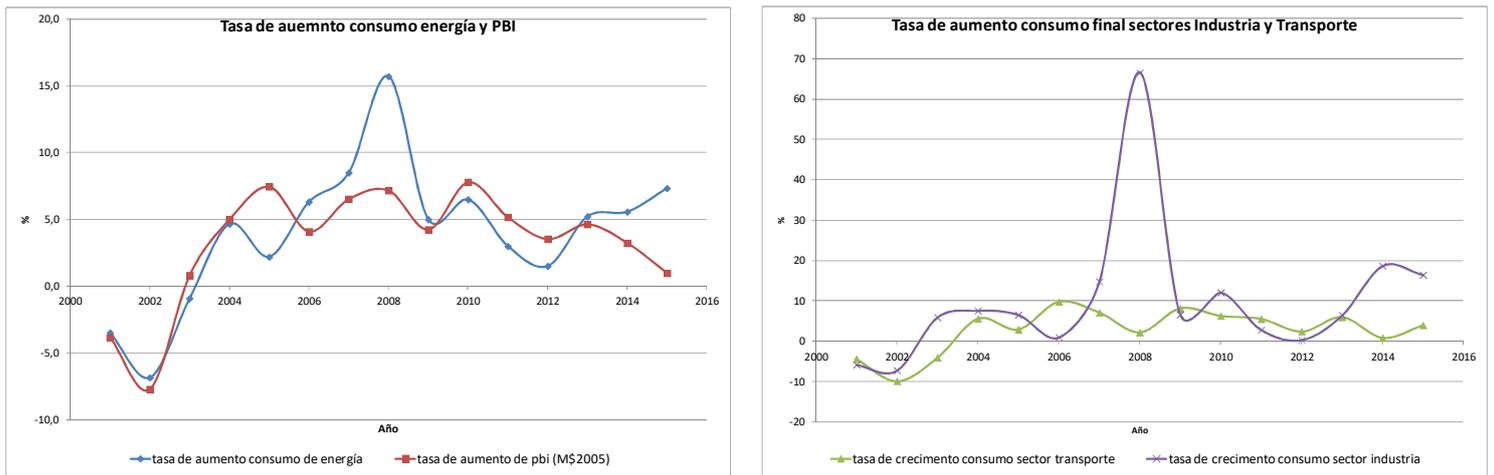


Figura 19: Tasas de aumento. A) Consumo de energía y PBI B) Consumo final sector Industrial y Transporte

Es importante destacar que si comparamos la intensidad energética de Uruguay con otros países, está claro que el país tiene valores absolutos menores producto, entre otros factores a la menor industrialización. Lo anterior se muestra a continuación en la figura 20.

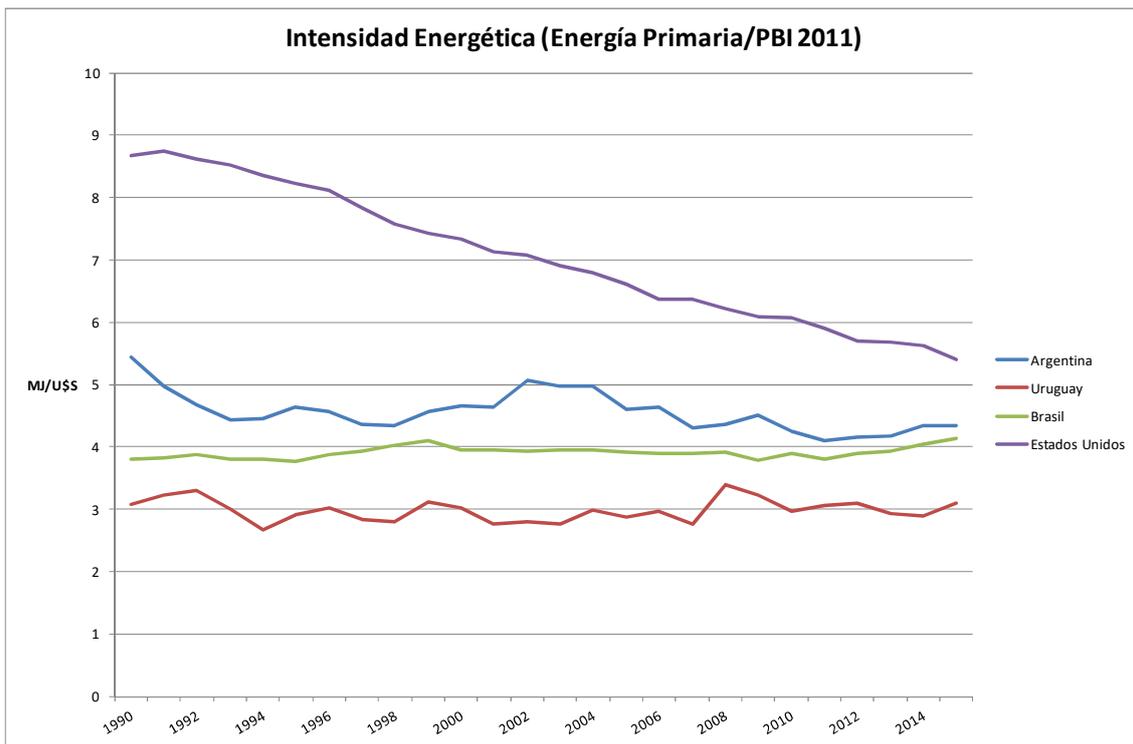


Figura 20: Intensidad Energética. Fuente Banco Mundial, 2018.

El consumo de energía per cápita ha venido en aumento desde el comienzo de la serie cronológica en 1965, pasando por un mínimo en el año 85, luego de la crisis de la tablita y en el año 2005 vuelve a caer producto de la crisis económica del año 2002. Una tendencia creciente del consumo energético per

cápita, en algunas coyunturas puede ser indicador de un desmejoramiento de la sostenibilidad. Sin embargo si nos comparamos con otros países, el consumo per cápita de Uruguay es menor. Lo que también habla de la estructura socioeconómica del país, como así también de la accesibilidad a los energéticos. Esto se refiere a los precios a los que se accede vinculado con el poder adquisitivo de las personas.

Nombre del país	Uso de energía (ktep/1000hab) año 2014
Argentina	2.015
Brasil	1.485
Estados Unidos	6.957
Uruguay	1.378
Promedio mundial	1.919

Tabla 13: Consumo Energía per cápita. Fuente Banco Mundial 2018

En lo que respecta al consumo de electricidad per cápita, la tendencia general ha sido de aumento, a excepción por ejemplo de la crisis del 2002 que afectó dicho indicador a la baja. El valor máximo de la serie es alcanzado en el año 2015. Considerando que la población se ha mantenido constante los últimos 10 años se puede decir que los habitantes están requiriendo mayores servicios eléctricos. Esto puede deberse a una sustitución de servicios energéticos que antes se abastecían de otros energéticos como es el caso de la calefacción. En este ítem también entra en juego la inserción en el mercado de equipos eficientes, lo que debería repercutir en una disminución en el consumo, la cual puede no verse o quedar enmascarado por el aumento de demanda real.

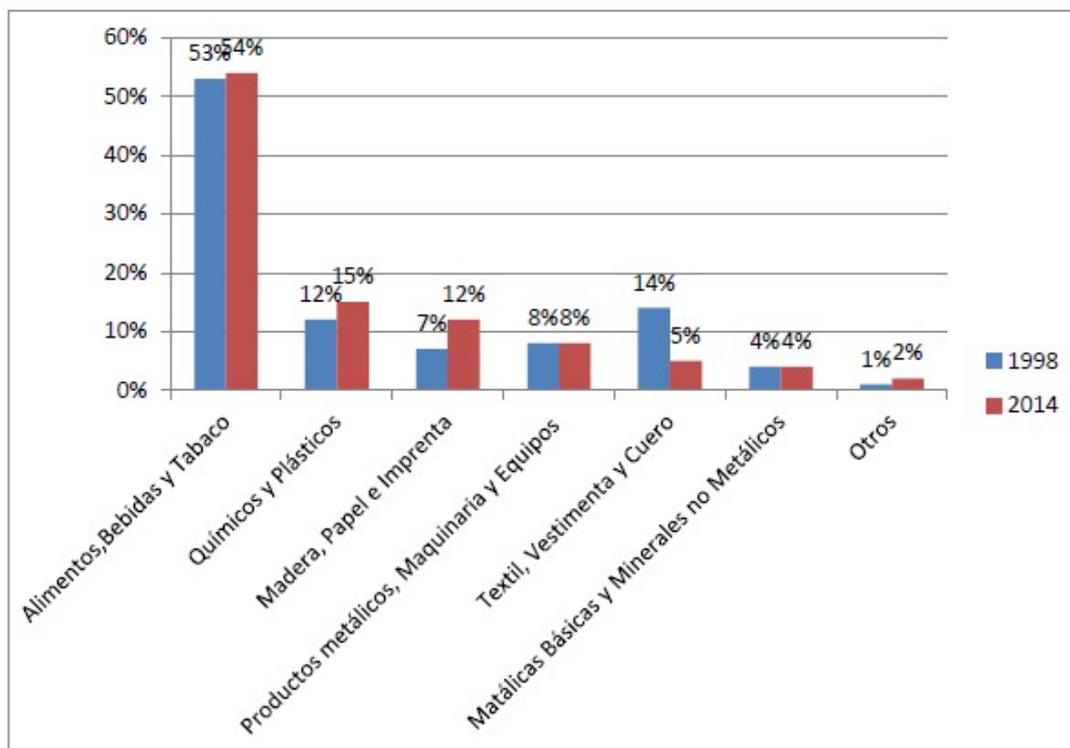
Nombre del país	Consumo de energía eléctrica (kWh/cap) año 2014
Argentina	3.052
Brasil	2.601
Estados Unidos	12.987
Uruguay	3.068
Promedio mundial	3.125

Tabla 14: Consumo Energía Eléctrica per cápita. Fuente Banco Mundial 2018

En lo que respecta a consumo de energía per cápita, Uruguay está cercano al promedio mundial para el año 2014, 2933 kWh/hab tal como se observa en la tabla 14.

Uruguay presenta características singulares, que cuando de comparaciones se trata, como lo es el consumo de energía eléctrica, en ocasiones queda por fuera situaciones promedio. Una de ellas es el pequeño tamaño, que lo hace tener un clima templado estable, en donde no hay grandes saltos de temperaturas inter estacionales, como lo hay en Argentina por ejemplo. Asimismo también Uruguay posee una economía con una industria

manufacturera, en la cual hay poco desarrollo de industrias con alto consumo como lo pueden ser las metalúrgicas, tal como se observa en la figura 21.



Fuente: Dirección de Estudios Económicos de la CIU en base a datos del INE. CIU (2015).

Figura 21: Estructura del Valor Bruto de Producción. (Rodríguez, 2017)

Las emisiones de CO₂ tanto por unidad de PBI como por habitante, han modificado su tendencia, comenzando al alza desde el principio del período en el cual existen datos, a una tendencia decreciente en los últimos cuatro años. Esto representa un aumento de sostenibilidad en la dimensión ambiental. Cabe aclarar que como parte del ejercicio se está analizando exclusivamente las emisiones de CO₂ generados por el uso de energía, existen otras emisiones de gases de efecto invernadero que en éste análisis de están dejando por fuera, como puede ser el metano producido en la actividad ganadera.

La tasa de electrificación del Uruguay, que incluye tanto el entramado urbano como rural, ha sido muy alta, llegando a ser uno de los más altos de Latinoamérica. Desde el punto de vista social y de acceso a este energético limpio, se desprende un aumento de sostenibilidad.

5.3. ESTUDIO DE SENSIBILIDAD³ Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

³ Análisis de cambio del resultado con la modificación de alguna variable.

Tal como se mencionó en el apartado 5.1, se desprende de la figura 17 que las mayores pérdidas de energía se dan en la conversión de energía final a energía útil. Precisamente en el lugar donde se requieren los servicios energéticos demandados por los sectores de consumo. Este potencial de eficiencia puede volverse vital a la hora del establecimiento de planes tendientes a mejorar sistemas energéticos.

La eficiencia del abastecimiento interno de energía (energía final/ consumo de energía) es del 82% para el año 2015. Considerando que las pérdidas de transformación de energía primaria a secundaria son de mayor peso relativo frente a las demás, esta eficiencia será menor cuanto mayor sean las pérdidas de transformación. Dentro de los sistemas de transformación de energía primaria a secundaria, el de mayor impacto en pérdidas es la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles. Coincidentemente estos periodos son aquellos en los que hay baja hidraulicidad. En particular en la historia reciente podría ser los años 2012 y 2008, tal como se muestra en la figura 22.

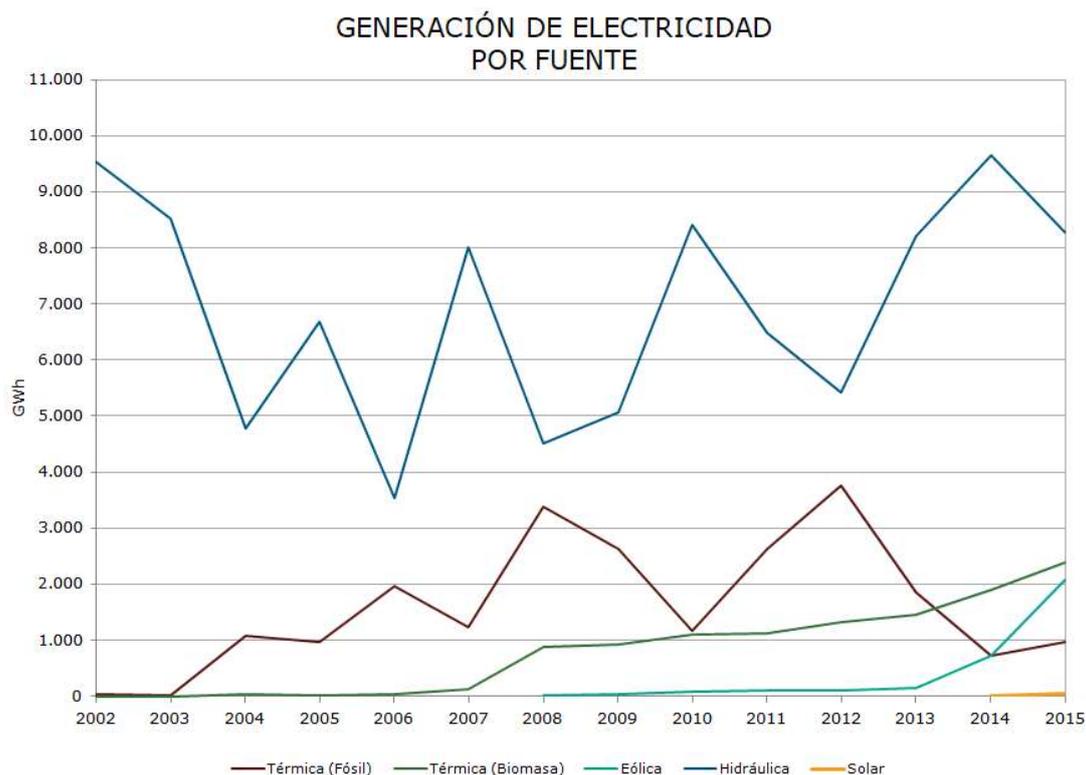


Figura 22: Generación de electricidad por fuente. Fuente: BEN 2015.

En segundo lugar y de acuerdo a la tabla 11, la eficiencia en el consumo, está en el orden del 50% para el año 2015, mientras que la eficiencia en el abastecimiento de energía final desde el consumo interno es de 81,5%.

En la figura 23 se muestra el flujo de energía mundial para el año 2015.

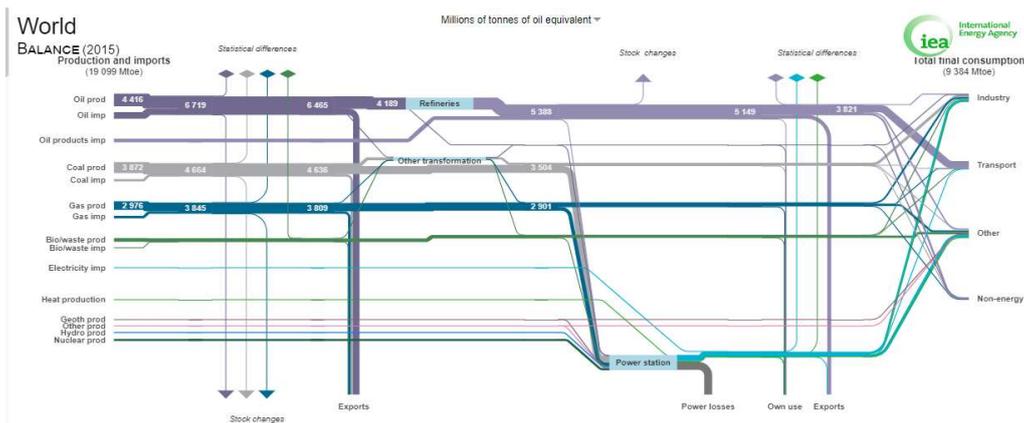


Figura 23: Balance de energía mundial para el año 2015. Fuente: IEA, 2015.

En donde, de los 19.099 Mtoe, llegan a los sectores de consumo, 9.384 Mtoe, lo que significa un 49% de rendimiento en el abastecimiento de energía. Este rendimiento es sustancialmente menor al que se observa a nivel nacional (82%). Sin embargo, las pérdidas del sector de generación de energía eléctrica mundial, son de 2.767 Mtoe, un 15% de la entrada de energía (IEA, 2015). Estas pérdidas provienen principalmente de generación a carbón y gas natural y son más que el doble que las pérdidas de transformación identificadas para el año 2015 en el sistema energético nacional (6,5%).

Y la eficiencia en el sistema energético en su globalidad es del 41%, tal como se ve en la tabla 11. Valor similar al obtenido en el relevamiento de usos de la energía realizado por la Fundación Bariloche para el año 2006 (38%), tal como se muestra en la siguiente figura.

Balance Nacional en Energía Útil de Uruguay 2006
Eficiencia global del sistema energético uruguayo

Concepto	kTep	% del ABT
Abastecimiento Bruto Total (ABT)	3.362,4	100,0%
Energía No Utilizada	26,9	0,8%
Pérdidas de T&D	100,7	3,0%
Pérdidas de Transformación	515,8	15,3%
Consumo Neto Total	2.719,0	80,9%
Pérdidas de Utilización	1.456,1	43,3%
Consumo Útil Total	1.262,9	37,6%

Eficiencia del Abastecimiento = 80,9%
Eficiencia del Consumo = 46,4%
Eficiencia del Sistema = 37,6%

Figura 24: Fuente Fundación Bariloche

Nótese que en el estudio la eficiencia del sistema es calculada respecto al abastecimiento bruto de energía, que es similar al consumo interno de energía, con la salvedad que la hidroenergía es considerada ya como la electricidad de origen hidro.

En la siguiente tabla se muestran los rendimientos de utilización por sectores de consumo para el año 2015.

Eficiencia de utilización por sectores	
Transporte	21%
Industrial	75%
Agro/Pesca/Minería	34%
Residencial	45%
comercial/servicios/sector público	77%

Tabla 15 Elaboración propia

Los mismos fueron calculados, como el cociente de energía útil respecto a la energía final consumida por cada sector. La energía útil a su vez fue calculada con los factores de utilización del estudio de relevamiento de consumo de energía sectoriales (Fundación Bariloche, 2008). En los sectores industria, residencial, comercial y servicios, agro pesca y minería, se utilizaron los rendimientos por energéticos detallados anteriormente en tablas 7 a 10, al consumo por fuente en cada sector para el año 2015. Para el caso del sector transporte se utilizaron los rendimientos expuestos en la tabla 6 del relevamiento de usos de la energía los cuales discriminan por subsector: carretero, ferroviario, aéreo y marítimo y fluvial. En el caso del sub sector transporte carretero se utilizó como simplificación la composición del parque automotor relevado también en dicho estudio. La misma es de 60% vehículos a nafta y 40% a gas oil. Quizás extrapolar esta composición del parque 10 años después, pueda introducir cierto error.

Tal como se explicó en el capítulo anterior, el relevamiento de consumo de energía sectorial en términos de energía útil desempeña un papel vital en el cálculo de la energía útil. Es importante que el mismo tenga la actualización necesaria para poder recoger la realidad de consumo de energéticos y usos de todos los sectores. La fundación Bariloche junto con el informe entregado para cada sector, describe una metodología de actualización. El estudio supone que la estructura de consumo de los sectores (industrial, residencial, comercial y servicios, agro/pesca/minería) se modificarían a largo plazo (5 a 10 años), momento a partir del cual se deberá rever la necesidad de realizar las encuestas de consumo. Para el sector transporte, se manifiesta una actualización particular de relevamiento de consumo de combustibles, tecnologías y otros datos.

Los sectores de consumo han presentado cambios con el correr de los años, que no están reflejados en la relevamiento de usos del año 2006. Para el caso del sector residencial, se observa un bajo rendimiento del uso iluminación, esto se fundamenta a que en el momento del relevamiento, había escaso empleo de lámparas de bajo consumo (Fundación Bariloche, 2008). En la actualidad la tecnología de iluminación más eficiente, como la led, ha penetrado en el sector residencial, con rendimientos promedio del 90%. Incluso la empresa de comercialización de energía eléctrica UTE, ha realizado en el año 2008 un programa de cambio de lámparas incandescentes por lámparas de bajo consumo, en el marco de políticas de promoción del uso eficiente de la energía eléctrica. Asimismo dentro del mismo marco existe un programa de Normalización y Etiquetado de Eficiencia Energética, que permite generar una clasificación de productos y equipos de acuerdo a su grado de eficiencia, todo lo cual tiende a mejorar los rendimientos de utilización de los equipos que brinden servicios energéticos, inclusión de aires acondicionados por ejemplo. Otro cambio que se ha dado en este sector es el comienzo de la participación de la energía solar en el uso de calentamiento de agua, la cual en el año 2006 era nula, de hecho no está relevada como energético. En el sector industrial, en los últimos años también se ha incorporado el uso de energía solar; ha aumentado el uso de los residuos de biomasa con el ingreso de las pasteras a partir del año 2007, ha caído la participación del gas natural a partir del año 2009 y también se ha dado el aumento del rendimiento de utilización del uso iluminación eléctrica. En lo que respecta al sector transporte, el mismo ha tenido cambios estructurales en lo que es la antigüedad y tecnologías de los vehículos del parque automotor. Esto es la participación de vehículos más eficientes como lo son los híbridos, los turbo comprimidos y la flota eléctrica, la cual ha tenido una insipiente participación. Seguramente estos cambios puedan haber repercutido en un aumento del rendimiento de los vehículos con motores a combustión interna del tipo Otto.

Dado que las encuestas fueron realizadas en el año 2006 y por lo dicho anteriormente, que dentro de los sectores se han dado modificaciones, es necesaria una actualización.

El sector transporte es el sector con menor rendimiento de utilización, debido a las tecnologías que predominan en el sector (motores otto y diesel), de bajo rendimiento. Seguido por el sector Agro/Pesca/Minería, el cual a su vez el sector de menor consumo de energía.

Esta tendencia de bajo rendimiento del sector transporte, se observa inclusive a nivel mundial, donde existe participación de todas las tecnologías utilizadas en el transporte. De la figura 25 se desprende que el rendimiento de utilización mundial es de 32%.

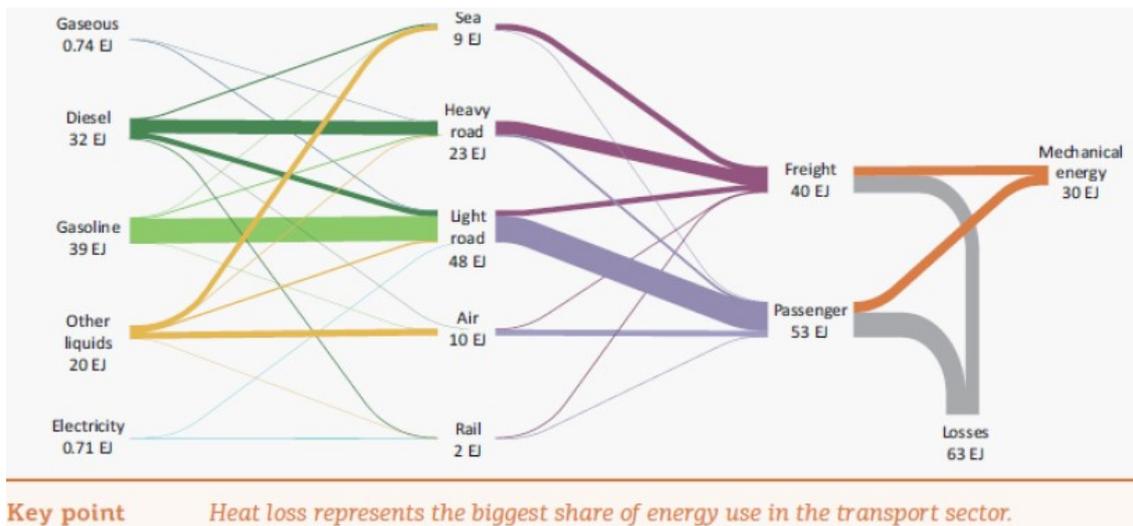


Figura 25: Utilización mundial de energía en el sector transporte. Fuente Körner, IEA, 2012

Asimismo el sector transporte nacional es uno de los de mayores consumo. En particular, en los últimos años ha sido el segundo sector en consumo después del industrial, tal como se observa en la figura 26:

CONSUMO FINAL ENERGÉTICO POR SECTOR

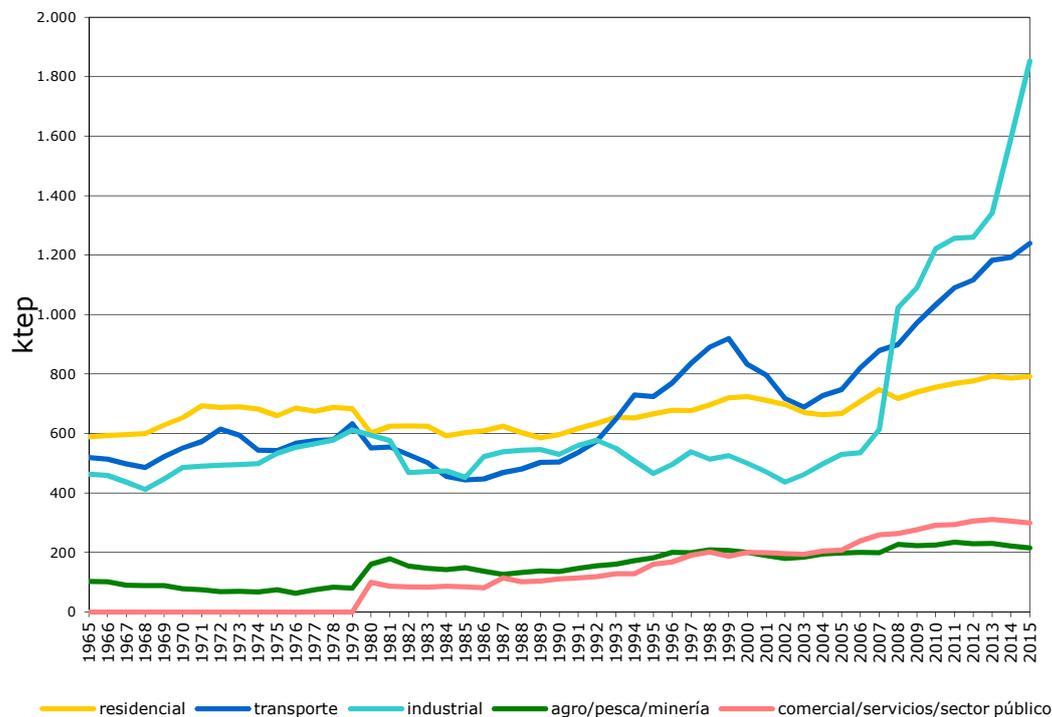


Figura 26: Consumo final por sector 1965-2015. Fuente BEN 2015

En la figura 26, también se puede observar que el transporte junto con la industria tienen las mayores tasas de crecimiento. Para el transporte la misma ha sido en promedio, en el período 2010-2015, de 4% anual.

Esta tendencia de consumo de sectores se observa también a nivel mundial, tal como se ve en la figura 27, en donde el sector transporte representa el segundo consumidor de energía final, consumiendo un total de 29 % detrás del sector industrial que representa un 37%.

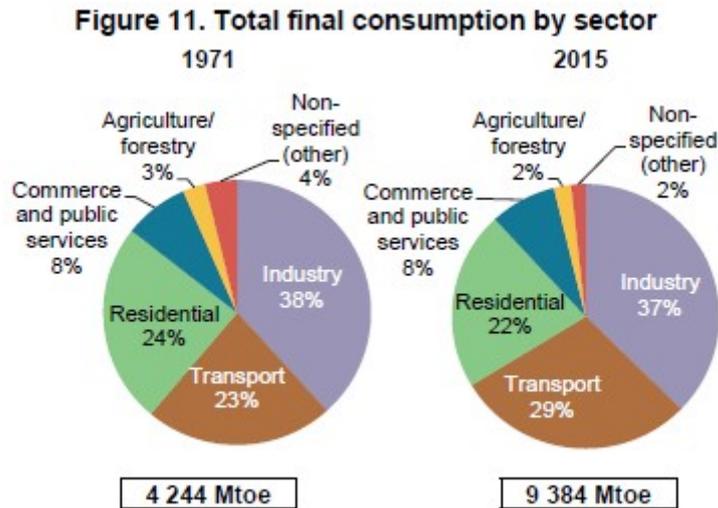


Figura 27: Consumo final mundial por sector. Fuente IEA

Por otro lado, el mercado uruguayo de venta de automóviles, si bien ha caído en los últimos cuatro años, tal como lo muestra en la figura 28, ha aumentado por un factor de 2,4 en los últimos 9 años (ACAU, 2016). Estas tasas de ventas podrían permitir respuestas significativas ante un cambio tecnológico que permita aumentar la eficiencia de transformación de energía final a útil en el sector.

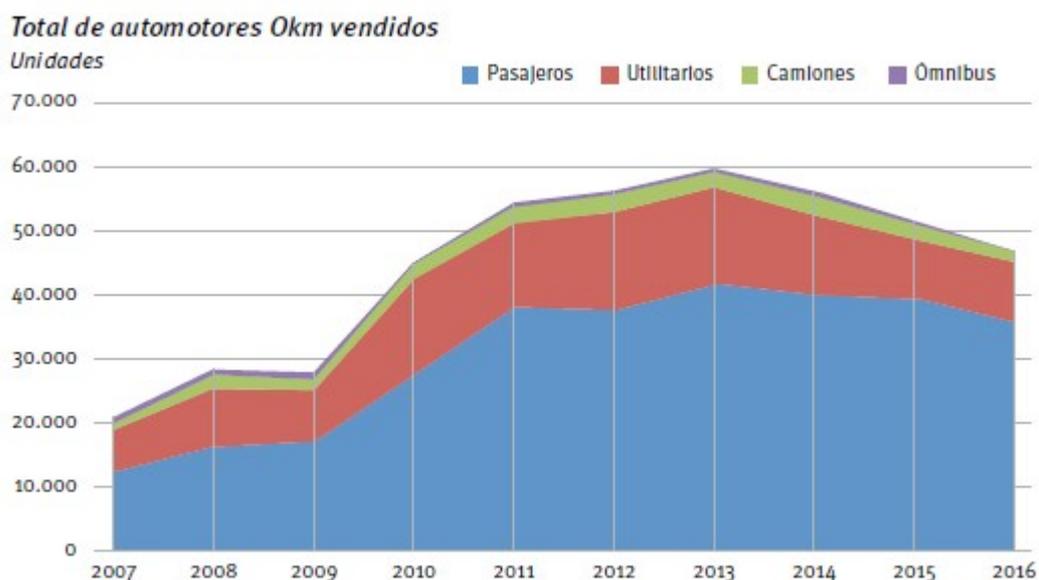


Figura 28: Total de automóviles Okm vendidos. Fuente ACAU.

En la tabla 16 se presenta, a modo de ejemplo, una comparación en el desempeño de dos tecnologías de automóviles sustitutas.

Auto Modelo	BYD E6	Volkswagen Gol 1600 101 CV
		Nafta
Peso vehículo	2380 kg	1036 kg
Autonomía media por carga	278 km	
Consumo	23 kWh/100km	7,6 L/100km
Operación	ciudad modo ECO	ciclo combinado
Tiempo de carga	2,25 horas	
Conversión	1 kWh = 3,6 MJ	PCI gasolina Super 2015 33,3 MJ/L
Energía consumida	82,8 MJ/100km	253,08 MJ/100km

Tabla 16: Comparación vehículo eléctrico vs combustión interna.

Los datos de estudio del rendimiento del auto eléctrico fueron realizados por el MIEM (MIEM, 2014). Mientras que el estudio de consumo del vehículo a nafta fue realizado experimentalmente (Barcia, 2016).

De la tabla anterior se desprende que el vehículo eléctrico consume un tercio de la energía que consume el auto a combustión interna. Cabe destacar que son datos aproximados, destacándose que existen vehículos con rendimientos mayores al presentado en la tabla 16.

Sin embargo el ejemplo sirve de forma nocional, del impacto en ahorro de consumo de energía podría generar un cambio tecnológico, tal como se habló anteriormente.

En el año 2015 el consumo de gasolina y etanol del sector transporte significó el 48% del total, 601 ktep (BEN, 2015). Con lo cual con la relación de consumo expresada en la tabla 16, un 10% de ahorro energético se puede obtener con un 15% de sustitución de flota de vehículos a nafta por eléctricos.

Otro aspecto que de interés dentro del consumo del sector, es la estructura de medios de transporte a los cuales se tiene acceso en muchas ciudades de Uruguay. En particular y para la ciudad de Montevideo, en el año 2014 se realizó la comparación de cuatro modos de transporte distintos: ómnibus, auto, moto y bicicleta, en el marco del trabajo Desafío Intermodal Montevideo. En el mismo se realizaron tres recorridos urbanos de 7 km cada uno, en horas con alto flujo vehicular, utilizando los cuatro medios de transporte mencionados. Para cada uno de los medios de transporte de relevaron los siguientes aspectos: tiempo insumido, costo y emisiones. En cada aspecto relevado se

ordenaron los resultados con valores de 1 a 4, siendo 1 el mejor y 4 el peor. Finalmente los tres resultados se promediaron por grupo de transporte, obteniéndose así un valor final, en dónde el menor valor indica la mayor eficiencia de medio de transporte. Los resultados se muestran en la siguiente figura.

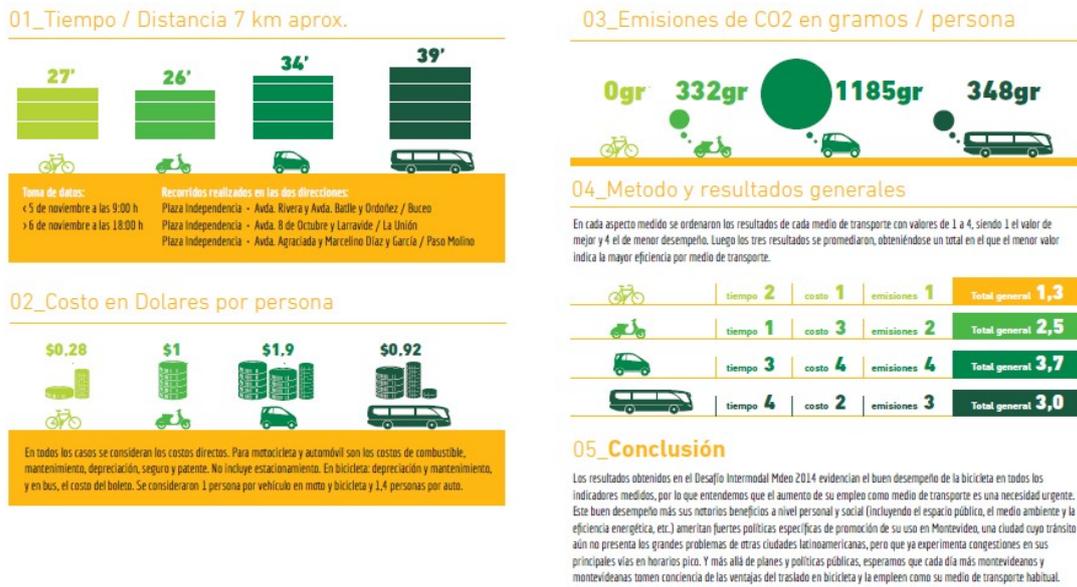


Figura 29: Resultados Desafío Intermodal 2014 (Unibici, 2014)

Según el resultado de este estudio, la bicicleta se presenta como el medio con mayor eficiencia, teniendo el mejor desempeño en los indicadores costo y emisiones y una muy buena performance en tiempo de ejecución del recorrido. Lo interesante dentro de los medios a propulsión fósil, es el ordenamiento del automóvil en último lugar y por detrás del ómnibus. En el caso del auto, el mismo presenta el costo y las emisiones más altas de los cuatro medios. El auto está ponderado por 1,4 personas, por lo que al transportar más personas, los indicadores podrían mejorar. En lo que concierne al ómnibus si bien presenta uno de los menores costos (boleto) es el que insume más tiempo para realizar el trayecto y las emisiones son una de las más grandes (el estudio considera 22 personas transportadas por el vehículo). El aspecto tiempo es muy importante a la hora de querer establecer una política de estímulo de sistema de transporte público. Lo cual trae aparejado la necesidad de un funcionamiento eficiente en lo que respecta a recorridos, paradas; como así también una infraestructura que lo facilite, tránsito fluido, tamaño de la flota, estado de las calles, tipo de vehículos/emisiones.

Por otro lado, dentro del sector transporte terrestre hay distintos medios que pueden participar en la movilidad de las personas. La participación de cada uno de ellos depende de muchos factores, dentro de los cuales se destacan: políticas energéticas, inversiones necesarias, planificación urbana,

sostenibilidad ambiental, costos de funcionamiento, volumen de personas, disponibilidad de energéticos y costos de los mismos, infraestructura, etc.. En lo que refiere a consumo de energía, en la figura 29 se muestra un comparativo de consumo para distintos medios. Comenzando por la bicicleta como medio de menor consumo hasta los vehículos personales a nafta o gas oil como mayor consumo. Es claro como el estímulo de transporte público, tanto ómnibus como tranvía se presentan como medios de menor consumo que el automóvil, estableciéndose así como medios atractivos de estímulo en lo que respecta a consumo energético.

GRÁFICO 1 | Consumo energético por medio de transporte en ámbito urbano (millones de joules-persona-km)

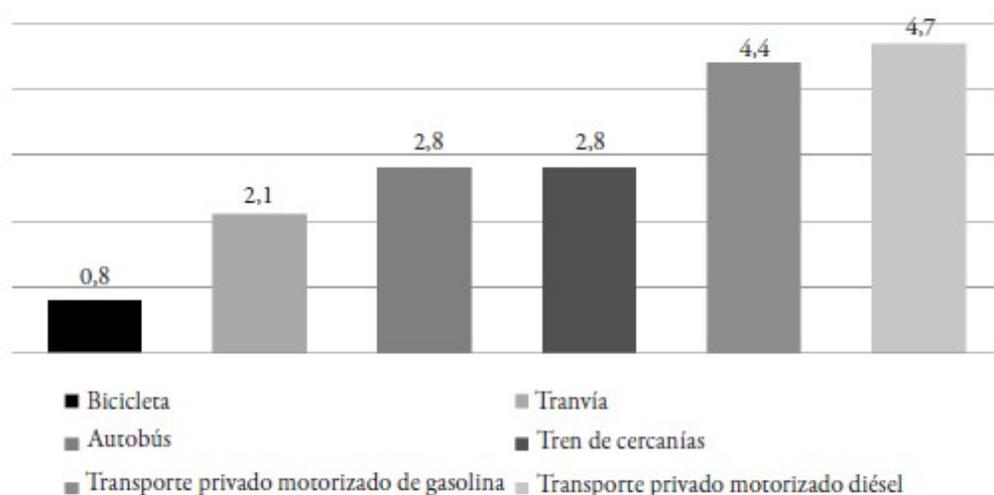


Figura 30: Consumo energético por medio de transporte (Guasch, 2012)

Asimismo los sistemas de transporte eléctrico como tranvías, trenes o metros, que funcionan por carriles propios tienen grandes ventajas en lo que respecta a disminución de tiempo de recorridos. En ciudades como Montevideo donde el aumento de vehículos comienza a ser un cuello de botella en horarios picos, generando atascamientos por volumen de vehículos e infraestructura saturada, este tipo de transporte eléctrico se puede visibilizar como una solución, sin embargo hay que ponderar otros aspectos, tales como los económicos.

Con respecto a la figura 18, se observa que el consumo interno de energía ha aumentado en los últimos 50 años. En particular se ha multiplicado por 2.5 en dicho período.

Asimismo se desprende también del gráfico, que el consumo interno calculado con el poder calorífico superior es mayor que el consumo derivado del BEN, lo que es lógico. Para un año cualquiera, el consumo interno de energía cuando se considera el poder calorífico superior es aproximadamente 7% mayor al

escenario original del BEN. Para el año 2015, la diferencia es de 385 ktep lo que equivale a 414.585 m³ de petróleo fósil, algo más de 2 embarques de un millón de barriles de importación de crudo. Claramente el aprovechamiento de ese calor latente implica una inversión en una tecnología con la cual realizarlo, por lo que el ahorro implícito no se traduce en la totalidad del energético ahorrado, al menos por un período.

En lo que respecta al aprovechamiento del calor latente de los combustibles fósiles líquidos utilizados en plantas de generación de energía eléctrica; en el caso de Uruguay en la Central Batlle, se han encontrado algunos inconvenientes técnicos. Uno de ellos es la condensación del SO₂, la cual se da durante el aprovechamiento del calor de los humos de chimenea. Esto trae aparejado problemas de corrosión en los sistemas de intercambiadores de calor a ser utilizados. En plantas de generación que utilicen gas natural como combustible, estos inconvenientes no se dan. Es en estos casos que se han diseñado soluciones en las cuales el calor desechado por los sistemas es inyectado en redes de calentamiento residencial cercanos a la planta. Es en estos casos que esta nueva fuente de energía para el servicio térmico de calefacción residencial se transforma en una fuente energética de baja emisión de CO₂ (IEA, 2012).

Se observa también en la figura 18, como la participación fósil, que era de un 80% en el año 1965, ha ido perdiendo preponderancia frente a la hidroenergía y el uso de biomasa, llegando al 2015 con una participación del 41%. La reducción porcentual en el uso de energía fósil, se debió a un aumento de las renovables, en particular de la biomasa, entendida por sobre todo como, residuos de biomasa y biomasa para combustibles y también leña. Dentro de la biomasa, se puede distinguir que el consumo de leña y carbón vegetal se ha mantenido relativamente constante y que el aumento se ha dado, a partir del año 2007 con el aprovechamiento de los residuos de biomasa. Es en este año que entran en vigor los contratos de venta de energía eléctrica a UTE por parte de la industria de celulosa, la cual genera electricidad a partir del licor negro. En 2007 se da la entrada de la primera planta de producción de celulosa, UPM, mientras que en el 2013 entra en operación la segunda, Montes del Plata. Asimismo, a partir del año 2010 comienza la producción de biocombustibles, generando un consumo doméstico de biomasa para la producción de los mismos.

En este punto, es importante aclarar el desarrollo que han tenido todas las renovables y en particular la energía eólica y solar, sumado a lo que se mencionó anteriormente de la biomasa. Si bien el período de este estudio culminó en el año 2015, en los siguientes años la energía eólica se ha duplicado, tal como se ve en el gráfico 31, pasando del 3% al 6% de la oferta de energía primaria. Esto es debido a la fuerte apuesta que ha realizado el país en diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica. Esto fue

producto de la Política Energética 2005-2030, en la cual dentro de los lineamientos estratégicos para la oferta de energía se establece la diversificación de fuentes, buscando fomentar energías autóctonas y en particular las renovables.

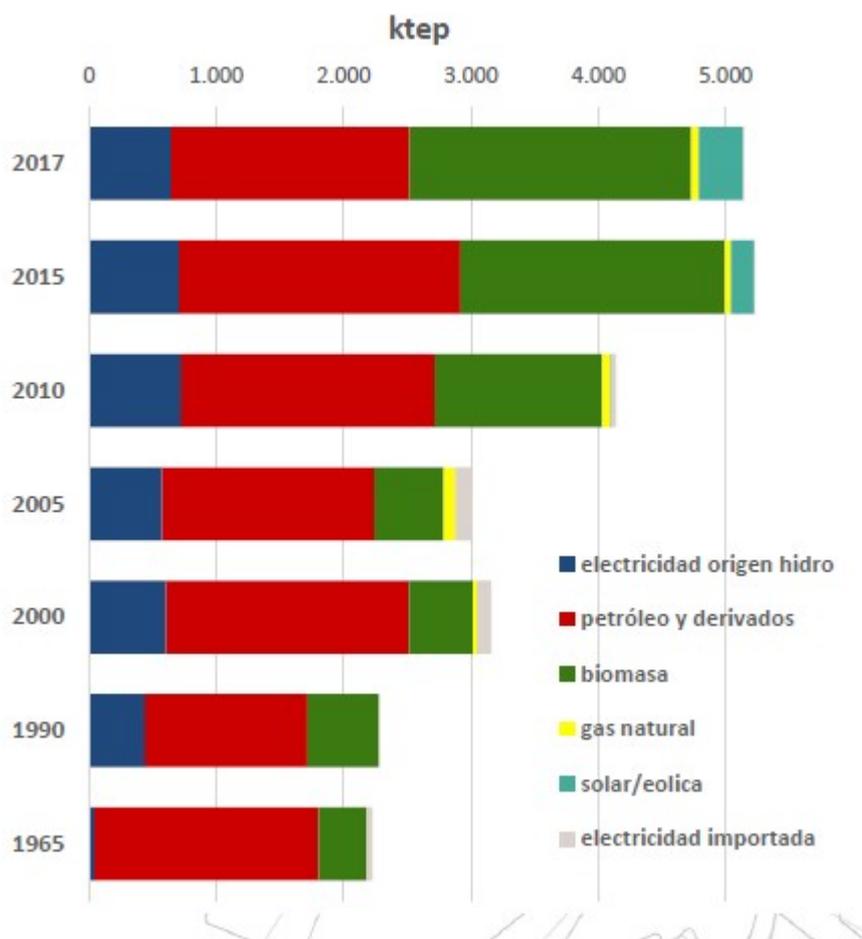


Figura 31: Matriz de energía primaria (BEN, 2017)

Mientras que en el año 2015 se contaba con una potencia eólica instalada de 875 MW, en el 2017 fue de 1.511 MW.

Estructura del sector eléctrico		
	2015 (MW)	2017 (mW)
Generadores hidráulicos	1.538	1.538
Generación térmica	1.530 (1.105 fósil + 424 biomasa)	1.254 (830 fósil + 424 biomasa)
Generación eólica	857	1.511
Generación solar	64	243
Total	3.989	4.546

Tabla 17: Potencia instalada sector eléctrico uruguayo. (Fuente: BEN)

6. CONCLUSIONES

Se concluye que se logra describir una metodología de conteo de flujos de energía aplicable a la herramienta de metabolismo urbano, por analogía a los procedimientos de conteo de materiales.

En lo referente a la consideración de flujos de energía respecto del poder calorífico superior, se concluye que hay una potencialidad teórica de aprovechamiento energético en los combustibles fósiles y biomasa. Sin embargo para su implementación hay barreras tecnológicas y de implementación. Para el caso del consumo interno de energía, el flujo de energía es un 7% mayor, en comparación con el del BEN.

Con respecto a la energía nutricional, hoy por hoy para sociedades urbanizadas como la nuestra, es un factor que puede representar el 4% del consumo interno de energía. Sin embargo, en sociedades donde se han registrado transiciones marcadas de la ruralidad a la urbanidad, se puede distinguir el cambio de patrón en lo que respecta a energía nutricional tanto humana como animal, e incluso puede llegar a ser mas relevante.

El rendimiento de utilización de la energía del sistema energético uruguayo calculado como el cociente de la energía útil con el consumo interno de energía para el año 2015, es del 41%. Se trata de un valor que sorprende por lo bajo, mas coincidente con lo que se observa a nivel mundial. En este sentido se identifica el sector de consumo transporte, con potencialidad para aumentar su bajo factor de utilización, 21%. Una tecnología alternativa que surge para aumentar su rendimiento es la incorporación del auto eléctrico, pudiéndose alcanzar teóricamente un ahorro del 10% del consumo de gasolina, con una sustitución del 15% de la flota de vehículos a combustión interna.

En relación al seguimiento de la sostenibilidad se concluye que es un tema multi dimensional, el cual se puede estudiar en el marco de un sistema energético. Con respecto a la sostenibilidad y en base a los indicadores expuestos, se concluye que ha habido una aumento de la misma producto de la disminución de las emisiones de CO₂ y de la tasa de electrificación; dentro de las dimensiones ambiental y social respectivamente. Por el contrario, el aumento de la intensidad energética en los últimos años, pareciera demostrar un empeoramiento de la sostenibilidad.

ANEXO I

A continuación se muestran los resultados de los distintitos parámetros del metabolismo urbano para el período de tiempo entre 1965 y 2015. Los flujos energéticos ya consideran el poder calorífico superior.

Importaciones

Importaciones (ktep)	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Petróleo Crudo	1824,1	1884,2	1992,3	2023,3	1190,4	1254,4	1598,2	2189,4	2200,9	2077,6	1253,8	2207,3	2054,6	2037,3	2169,9
Otros combustibles fósiles primarios	36,2	28,8	28,8	2,8	0,3	0,4	0,3	34,7	101,1	75,2	81,8	60,6	57,1	52,3	53,9
Carbón mineral	36,2	28,8	28,8	2,8	0,3	0,4	0,3	0,4	1,0	3,0	1,7	2,1	2,4	1,9	2,6
Gas natural	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,3	100,1	72,2	80,1	58,5	54,7	50,4	51,3
Combustibles fósiles secundarios	133,9	131,3	105,2	108,1	53,5	248,3	652,4	304,5	390,4	815,5	1717,2	1378,5	656,8	549,2	476,7
GLP	0,0	4,5	12,3	5,1	0,0	0,0	52,0	45,2	2,7	64,6	75,4	57,9	53,2	52,3	47,5
Gasolina automotora							104,5	0,0	81,4	130,7	184,3	91,3	16,8	56,4	59,8
Gasolina de aviación	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	4,6	4,2	2,1	4,1	1,6	3,5	3,3	3,3	3,2
Nafta liviana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Queroseno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbo combustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	0,0	0,0	4,5	52,9	23,6	0,0	0,0	0,0
Gas Oil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	139,6	352,0	244,0	148,7	347,8	957,7	722,6	346,1	215,0	270,6
Diesel Oil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fuel Oil	116,9	104,8	69,5	68,7	39,5	87,6	97,1	0,0	105,8	186,9	386,4	418,0	180,7	108,2	8,5
Coque de petróleo	0,0	0,0	0,0	5,9	0,9	0,2	0,9	0,2	0,7	54,0	27,3	35,7	27,3	84,1	59,1
Gas Fuel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gas Manufacturado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coque de carbón	2,4	3,3	3,1	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	1,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
Carbón vegetal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	0,7	1,7	1,1	1,6	1,6	1,8	1,7
Prod no energéticos	14,6	18,7	20,3	27,8	10,6	20,7	27,5	9,8	47,2	20,9	30,1	24,2	27,5	27,9	26,2
Electricidad importada	0,1	2,4	2,0	2,9	0,0	4,4	16,2	114,2	136,3	33,3	41,0	63,8			0,2
Hidroenergía															
Energía eólica															
Energía Solar															
Leña															
Residuos de biomasa															
Biomasa combustibles															
TOTAL	1994,4	2046,7	2128,2	2137,0	1244,3	1507,6	2267,2	2642,8	2828,7	3001,5	3093,8	3710,2	2768,5	2638,8	2700,7

Extracción doméstica:

Extracción doméstica (ktep)	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Petróleo Crudo															
Otros combustibles fósiles primarios															
Combustibles fósiles secundarios															
Electricidad importada															
Hidroenergía	60,2	142,8	113,7	381,0	546,3	751,2	624,7	907,7	831,7	1001,4	630,4	585,3	837,9	1273,6	1124,6
Energía eólica										6,0	9,6	9,7	12,4	63,0	177,6
Energía Solar														2,9	7,1
Leña	396,9	410,2	434,9	473,9	559,3	536,1	513,1	446,9	494,1	590,3	622,3	609,9	620,4	598,4	580,3
Residuos de biomasa	26,7	34,8	49,3	60,8	83,7	84,2	93,9	105,3	112,9	851,9	833,4	875,6	953,2	1252,2	1601,7
Biomasa combustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,1	31,2	38,8	62,4	81,3	128,1
TOTAL	483,8	587,8	597,9	915,7	1189,3	1371,5	1231,7	1459,9	1438,7	2472,8	2127,0	2119,3	2486,3	3271,5	3619,4

Exportaciones:

Exportaciones (ktep)	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Petróleo Crudo															
Otros combustibles fósiles primarios	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Carbón mineral															
Gas natural	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
Combustibles fósiles secundarios	75,3	48,7	44,3	34,5	129,5	144,6	477,4	454,8	813,6	765,0	549,5	490,5	345,1	337,9	289,2
GLP	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	9,2	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Gasolina automotora	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,1	9,6	332,9	202,2	53,3	91,0	24,9	25,3	0,0
Gasolina de aviación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1
Nafta liviana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Queroseno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbo combustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	19,2	21,2	77,0	45,0	81,8	101,3	101,2	77,3	86,0	101,7
Gas Oil	0,0	0,0	0,0	0,0	26,3	67,2	106,2	100,7	135,0	118,5	127,5	130,8	117,5	117,9	101,5
Diesel Oil	0,0	0,0	0,0	0,0	25,2	12,2	10,0	14,7	14,0	1,9	1,9	5,1	0,0	0,0	0,0
Fuel Oil	75,3	48,7	44,3	34,5	62,1	45,9	286,1	212,4	278,7	351,2	262,5	162,0	125,1	107,7	85,6
Coque de petróleo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gas Fuel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gas Manufacturado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Coque de carbón	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Carbón vegetal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Prod no energéticos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	33,4	0,6	0,1	0,0	0,3	0,2	0,4	0,2
Electricidad importada	0,1	0,0	0,1	0,0	11,8	63,0	20,0	81,0	72,3	61,1	1,6	16,7	17,8	108,9	113,6
Hidroenergía															
Energía eólica															
Energía Solar															
Leña															
Residuos de biomasa															
Biomasa combustibles															
TOTAL	75,4	48,7	44,4	34,5	141,3	207,6	497,4	535,8	885,9	826,1	551,1	507,2	362,9	446,8	402,8

Pérdidas

Pérdidas transmisión energía primaria:

	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Pérdidas energía primaria (ktep)															
Petróleo Crudo	-44,4	-39,2	-44,4	-6,6	0,0	0,0	0,0	-5,6	0,0	-1,9	-0,4	-1,3	-2,1	-8,3	-1,6
Otros combustibles fósiles primarios	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-12,2	-0,7	-0,7	-2,0	-1,3	0,0	0,0
Carbón mineral															
Gas natural	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-12,2	-0,7	-0,7	-2,0	-1,3	0,0	0,0
Combustibles fósiles secundarios															
Electricidad importada															
Hidroenergía	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Energía eólica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Energía Solar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Leña															
Residuos de biomasa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biomasa para combustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	-44,4	-39,2	-44,4	-6,6	0,0	0,0	0,0	-5,6	-12,2	-2,6	-1,1	-3,3	-3,5	-8,3	-1,6

Pérdidas transmisión energía secundaria:

	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Pérdidas energía secundaria (ktep)															

Petróleo Crudo															
Otros combustibles fósiles primarios															
Carbón mineral															
Gas natural															
Combustibles fósiles secundarios	-3,2	-3,4	-2,0	-1,1	-5,3	-4,1	-5,9	-9,6	-3,4	-8,8	-10,5	-12,1	-12,5	-6,7	-13,9
GLP						-0,8	-0,5	-2,2	-0,2	-2,6	-2,7	-3,4	-1,8	-0,8	-1,1
Gasolina automotora	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,4	-1,0	-1,1	-2,5	-0,7	-1,4	-3,6	-2,5	-2,6	0,0	-0,2
Gasolina de aviación	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2		0,0	-0,2	0,0	-0,1		-0,1	-0,1	0,0	-0,1
Nafta liviana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0						
Queroseno	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,1	-0,1			-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	-0,1	-0,2
Turbo combustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,2	-1,2	-0,7	-0,3
Gas Oil	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,6	-0,7	-0,7	-1,8		-0,5	-0,6	-3,0	-0,5	0,0	-4,4
Diesel Oil	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,3		-0,2	-0,4	
Fuel Oil	-2,0	-2,0	-0,2	-0,1	-0,8	-0,6	-0,7	-1,1	-1,8	-0,5	-2,3	-2,5	-2,6	-3,7	-7,4
Coque de petróleo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gas Fuel													-3,1	-0,7	
Gas Manufacturado	-1,2	-1,4	-1,4	-0,7	-0,2	-0,9	-2,2	-1,4							
Coque de carbón	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Carbón vegetal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Prod no eneréticos	0,0	0,0	-0,3	-0,3	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,6	-3,5	-0,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2
Electricidad	-21,9	-32,5	-32,6	-47,3	-60,4	-89,1	-100,9	-120,9	-154,1	-104,2	-110,7	-111,1	-110,2	-107,7	-128,1
Hidroenergía															
Energía eólica															
Energía Solar															
Leña															
Residuos de biomasa															
Biocombustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,7
TOTAL	-25,1	-35,9	-34,6	-48,4	-65,7	-93,2	-106,8	-130,5	-157,5	-113,0	-121,1	-123,4	-123,0	-114,9	-142,7

Pérdidas de transformación energía primaria a secundaria:

	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Pérdidas centro de transformación (ktep)															
Refinería	106,7	101,1	96,2	49,2	73,1	72,0	41,0	242,7	126,6	5,1	41,1	19,7	15,4	52,8	3,9
Generación de electricidad térmica fósil	359,0	314,6	403,5	311,4	50,6	105,6	112,6	144,1	178,2	190,9	453,0	638,9	316,4	120,3	152,4
Generación de electricidad hidroeléctricas	60,2	131,5	113,7	335,9	43,5	68,1	93,0	82,1	72,5	94,3	62,8	63,2	92,7	135,2	103,3

Generación de electricidad térmica residuos biomasa+leña	0,4	5,3	5,3	5,6	16,7	12,4	7,6	3,9	0,8	41,7	32,2	61,4	63,5	72,6	92,5
Producción de biocombustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	5,4	8,4	13,9	15,6	34,8
TOTAL	526,4	552,5	618,7	702,1	183,9	258,1	254,1	472,7	378,1	337,5	594,5	791,7	502,0	396,4	386,8

Variación de inventario, energía no utilizada y ajuste de energía primaria

ktep	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Variaciones de inventario, no utilizada y ajustes energía primaria (*)															
Petróleo Crudo	-67,6	33,2	41,6	-51,1	8,1	87,4	-136,8	120,3	107,2	-46,5	181,8	-130,2	181,7	80,3	-125,0
Otros combustibles fósiles primarios	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
Carbón mineral															0,0
Gas natural	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
Combustibles fósiles secundarios															
Electricidad importada															
Hidroenergía	0	-11,3	0	-45,1	-166,5	-240,1	-28,3	-219,4	-184,5	-184,2	-10,5	-56	-39,6	-308,7	-310,6
Energía eólica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Energía Solar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Leña															
Residuos de biomasa	-9,4	-10,3	-13,8	-15,7	-21,2	-13,7	-40,6	-63,3	-64,4	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1
Biomasa para combustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
TOTAL	-77,1	11,6	27,9	-111,9	-179,6	-166,3	-205,7	-162,4	-141,7	-230,7	171,1	-186,5	141,9	-228,5	-435,8

(*) si es positivo está tomando inventario, si es negativo está acumulando inventario

Variación de inventario, energía no utilizada y ajuste de energía secundaria

ktep	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Variación de inventario, energía no utilizada y ajustes energía secundaria															
Combustibles fósiles secundarios	23,2	-95,0	-2,8	-125,0	78,6	-39,5	27,9	-42,0	25,2	33,8	-37,0	-65,9	-2,4	-50,7	58,9
GLP	-0,4	-0,5	0,5	0,5	-2,8	6,7		2,2			1,8	0,4	-1,7	2,0	0,7
Gasolina automotora	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	9,8	4,0	-12,3	-10,3	18,2	-33,2	2,5	-19,1	30,8	10,3
Gasolina de aviación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,8	-0,9	-0,6	0,0	-1,0	1,1	-0,2		-0,1	-0,3
Nafta liviana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	-5,4	0,1						
Queroseno	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	0,6	0,9	-0,4	-0,4	-0,4	0,3	-0,7	0,3	0,0	0,2
Turbo combustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,5	-0,9	2,7	1,0	-2,5	-4,8	0,6	2,9	-3,2	1,1

Gas Oil	0,0	0,0	0,0	0,0	48,0	-17,4	-13,2	0,0	-3,6	7,7	-50,3	-39,9	0,0	-28,9	18,5
Diesel Oil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	-3,5	-1,2	-2,0	-2,0	-2,2	0,6	-3,8	0,2	0,4	
Fuel Oil	22,2	-77,9	10,0	-101,6	27,3	-37,2	42,2	-30,5	16,2	26,6	34,3	-26,8	11,7	-9,9	38,8
Coque de petróleo	0,0	-11,8	-9,4	-12,0	-8,4	0,0	0,0	0,0	25,7	-17,8	12,9	4,6	12,7	-34,2	-6,2
Gas Fuel	-1,2	-2,1	-3,3	-4,3	-3,6	-4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-9,3	-5,4	-4,6
Gas Manufacturado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0						
Coque de carbón	1,7	-0,8	0,3	0,0	0,0	0,0									
Carbón vegetal															
Prod no energéticos	1,0	-1,9	-0,9	-7,6	4,2	1,1	-1,7	4,6	-1,4	5,1	0,2	-2,4	0,0	-2,1	0,4
Electricidad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,5	-0,1	-3,6	-0,4	-0,1	0,1	0,9	0,6	0,3	-0,1
Biocombustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-7,6	-1,3	2,7	0,6	-6,6	-5,1
TOTAL	23,2	-95,0	-2,8	-125,0	78,6	-41,0	27,8	-45,6	24,8	26,1	-38,2	-62,3	-1,2	-56,9	53,7

Consumo propio de energía secundaria del sistema energético:

ktep	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Consumo Propio energía secundaria															
Petróleo Crudo															
Otros combustibles fósiles primarios															
Carbón mineral															
Gas natural	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	4,8	1,1	1,3	2,0	0,8	2,1	2,2
Combustibles fósiles secundarios	39,9	57,3	49,9	71,3	43,7	70,5	79,3	103,7	143,8	126,8	93,7	122,1	141,5	144,4	145,7
GLP							0,5	0,7	0,0					1,2	0,9
Gasolina automotora	0,0	0,0	0,0	0,0				0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Gasolina de aviación	0,0	0,0	0,0	0,0											
Nafta liviana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						
Queroseno	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0						
Turbo combustibles	0,0	0,0	0,0	0,0											
Gas Oil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,3	1,4	0,7	2,3	1,7	3,9	1,7	2,0
Diesel Oil	0,0	0,0	0,0	0,0			3,0	0,0				0,1			
Fuel Oil	31,5	45,9	30,9	46,7	29,7	39,6	44,8	40,4	28,7	36,1	21,8	30,1	35,8	45,4	39,3
Coque de petróleo	0,0						13,2	15,7	18,8	33,0	25,3	20,7	26,6	28,9	33,2
Gas Fuel	6,9	11,4	19,0	24,6	14,0	17,7	14,4	42,6	80,7	64,6	48,8	63,6	72,8	67,2	70,2
Gas Manufacturado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Coque de carbón	1,5														
Carbón vegetal															
Prod no energéticos							0,0	0,0							0,0
Electricidad	7,1	7,4	8,8	9,2	6,0	4,0	7,7	9,1	13,5	18,2	18,1	24,3	27,9	31,1	33,1

Hidroenergía																
Energía eólica																
Energía Solar																
Leña																
Residuos de biomasa																
Biocombustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0				
TOTAL	47,0	64,7	58,7	80,5	49,7	74,5	87,0	113,2	162,1	146,2	113,1	148,5	170,2	177,6	181,0	

A continuación se detalla un resumen de todos los flujos:

Metabolismo Urbano (ktep)	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Entrada Directa de Energía	2478,1	2634,5	2726,1	3052,7	2433,6	2879,1	3498,9	4102,7	4267,4	5474,3	5220,8	5829,5	5254,8	5910,3	6320,1
Importaciones	1994,4	2046,7	2128,2	2137,0	1244,3	1507,6	2267,2	2642,8	2828,7	3001,5	3093,8	3710,2	2768,5	2638,8	2700,7
Extracción Domestica	483,8	587,8	597,9	915,7	1189,3	1371,5	1231,7	1459,9	1438,7	2472,8	2127,0	2119,3	2486,3	3271,5	3619,4

Exportaciones	75,4	48,7	44,4	34,5	141,3	207,6	497,4	535,8	885,9	826,1	551,1	507,2	362,9	446,8	402,8
Consumo interno de energía	2402,8	2585,8	2681,7	3018,2	2292,3	2671,5	3001,5	3566,9	3381,5	4648,2	4669,7	5322,3	4909,7	5572,4	5917,4

Pérdidas Transmisión Energía Primaria	44,4	39,2	44,4	6,6	0,0	0,0	0,0	5,6	12,2	2,6	1,1	3,3	3,5	8,3	1,6
Pérdidas de Transformación Energía Primaria a Secundaria	526,4	552,5	618,7	702,1	183,9	258,1	254,1	472,7	378,1	337,5	594,5	791,7	502,0	396,4	386,8
Pérdidas Transmisión Energía Secundaria	25,1	35,9	34,6	48,4	65,7	93,2	106,8	130,5	157,5	113,0	121,1	123,4	123,0	114,9	142,7
<i>Total Pérdidas de Transmisión</i>	<i>69,5</i>	<i>75,1</i>	<i>79,0</i>	<i>55,0</i>	<i>65,7</i>	<i>93,2</i>	<i>106,8</i>	<i>136,1</i>	<i>169,7</i>	<i>115,6</i>	<i>122,2</i>	<i>126,7</i>	<i>126,5</i>	<i>123,2</i>	<i>144,3</i>
Total de pérdidas	595,9	627,6	697,7	757,1	249,6	351,3	360,9	608,9	547,8	453,1	716,7	918,4	628,5	519,6	531,1

Variación de inventario, Energía no utilizada y ajustes Energía Primaria(*)	-77,1	11,6	27,9	-111,9	-179,6	-166,3	-205,7	-162,4	-141,7	-230,7	171,1	-186,5	141,9	-228,5	-435,8
Variación de inventario, Energía no utilizada y ajustes Energía Secundaria(*)	23,2	-95,0	-2,8	-125,0	78,6	-41,0	27,8	-45,6	24,8	26,1	-38,2	-62,3	-1,2	-56,9	53,7
<i>Total variación de inventario</i>	<i>-53,9</i>	<i>-83,4</i>	<i>25,1</i>	<i>-236,9</i>	<i>-101,1</i>	<i>-207,3</i>	<i>-177,9</i>	<i>-208,0</i>	<i>-116,9</i>	<i>-204,6</i>	<i>132,9</i>	<i>-248,7</i>	<i>140,7</i>	<i>-285,4</i>	<i>-382,1</i>
Energía Primaria No Utilizada	-9,4	-21,6	-13,8	-60,8	-187,7	-253,8	-68,9	-282,7	-248,9	-184,2	-10,5	-56,0	-39,6	-308,7	-310,6
Consumo Propio Energía Primaria y Secundaria	47,0	64,7	58,7	80,5	49,7	74,5	87,0	113,2	162,1	146,2	113,1	148,5	170,2	177,6	181,0
(*)Negativo acumulación de inventario y energía no utilizada															
Energía Final	1706	1810	1950	1944	1892	2038	2376	2637	2555	3844	3973	4007	4234	4481	4823,1

Energía final por sectores de consumo para el año 2015. La misma fue calculada a partir del consumo final de cada sector por fuente, convirtiendo a su equivalente energético de contenido energético por PCS.

Energía Final a sectores de consumo		2015
Sector	Transporte	1319
	Industrial	2018
	Agro/Pesca/Minería	230
	Residencial	841
	comercial/servicios/sector público	230
	No energéticos	86
	Total	4723

Nótese que el total de consumo por sector es 100 ktep menor a la Energía Final, tal como se muestra en la tabla anterior. Esto es debido a aproximaciones realizadas en la equivalencia de consumos energéticos por fuente a contenido energéticos respecto el PCS.

Poderes caloríficos energéticos

Energético	PCS(*)	PCI	Unidad	Densidad (kg/L)	PCS/PCI
Petróleo Crudo	9283	8717	kcal/L	0.8579	1.065
Otros combustibles fósiles primarios					
Carbón mineral	7778	7000	kcal/kg		1.111
Gas natural	9300	8300	kcal/m3	0.6200	1.120
Combustibles fósiles secundarios					
GLP	11870	10930	kcal/kg	0.5450	1.086
Gasolina automotora	8529	7969	kcal/L	0.7631	1.070
Gasolina de aviación	8134	7582	kcal/L	0.7189	1.073
Nafta liviana	7914	7378	kcal/L	0.6953	1.073
Queroseno	8842	8277	kcal/L	0.7997	1.068
Turbo combustibles	8949	8383	kcal/L	0.8129	1.068
Gas Oil	9265	8697	kcal/L	0.8519	1.065
Diesel Oil	9259	8693	kcal/L	0.8547	1.065

Fuel Oil	10102	9597	kcal/L	0.9904	1.053
Coque de petróleo	8889	8000	kcal/kg		1.111
Gas Fuel	12222	11000	kcal/m3		1.111
Gas Manufacturado	4600	4140	kcal/m3	0.6000	1.111
Coque de carbón	7500	6800	kcal/kg		1.103
Carbón vegetal	8333	7500	kcal/kg		1.111
Leña	3000	2700	kcal/kg		1.111
Residuos de biomasa	2466	2219	kcal/kg		1.111
Biomasa para combustibles	3794	3415	kcal/kg		1.111
Prod no energéticos	8497	7939	kcal/L	0.7599	1.070

(*) Los valores en rojo, son valores estimados como $PCS=PCI/0.9$

BIBLIOGRAFÍA

Asociación del Comercio Automotor del Uruguay ACAU. Anuario 2016.

Banco Mundial. *The World Bank Data*. [On Line]. Energy intensity level of primay energy (MJ/\$2011). [Consulta: 11 de junio de 2018]. Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicador/EG.EGY.PRIM.PP.KD>

Banco Mundial. *The World Bank Data*. [On Line]. Uso de energía (kg equivalente de petróleo per cápita) [Consulta: 12 de junio de 2018]. Disponible en: https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.PCAP.KG.OE?end=2014&name_desc=false&start=1960&view=chart

Banco Mundial. *The World Bank Data*. Consumo Energía Eléctrica per cápita [On Line]. [Consulta: 12 de junio de 2018]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>

Banco Mundial. *Indicadores Desarrollo Rural y Urbano*. [On Line]. [Consulta: 14 de setiembre de 2014]. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador#topic-16>.

Banco Mundial. *The Changing Wealth of Nations*. The World Bank. Washington DC. 2011

Barcia R. *Prueba Volkswagen Hatch 1.6 Trendline*. (on line). (Consulta: 26/04/2018). Disponible en: <https://www.autoblog.com.uy/2016/07/prueba-volkswagen-gol-hatch-16-trendline.html>. 2016.

Borucke, M. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts underlying methodology and framework. *Ecological Indicators Journal*. 2011.

Boardman, B. *Fuel Poverty: From Cold Homes to Affordable Warmth*. London, Belhaven Press. 1991.

Bringezu, S. History and overview of materials flow analysis. Working Group on Environmental Information and Outlooks (24 de octubre 2000, Paris). *Special session on material flow accounting*. París, OECD, 2003.

Carneiro A., Lima A.. Sustainability, Energy and Development: A Proposal of Indicators. *International Journal for Infonomics* (IJI), Volume 5, Issue 1/2, March/June 2012

Casal L., Mello B., Kimelman N. Un enfoque para el desarrollo: el ahorro genuinos y las riquezas de las naciones. Facultad de Ciencias Económicas y Administración. 2015.

CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Energía y desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL, 2003.

Chevallier J.M.. *Economie de l'energie*. Presses de la Fondation Nationale de Science Politique. 1986

CMMAD, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. *Nuestro futuro común*. Oxford: Oxford University Press, 1987.

Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. *Nuestra propia agenda*. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo, 1990.

Damonte, Ana María. *Variables del siglo XX – Población*, Instituto Nacional de Estadísticas. [On Line]. [Consulta: 19 de setiembre de 2018]. Disponible en: <http://www.ine.gub.uy/documents/10181/35704/Variables+Estad%C3%ADstica+s+Relevantes+Durante+el+Siglo+XX+-+1+Poblaci%C3%B3n.pdf/ac906a54-7873-4d0a-becf-5cf0ef7d8cc5>

Daniels, P. L.. Approaches for Quantifying the Metabolism of Physical Economies: A Comparative Survey. *Journal of Industrial Ecology* volumen 6 (1), 2002.

Daniels, P. L.. Approaches for Quantifying the Metabolism of Physical Economies. Part I: Metodological Overview. *Journal of Industrial Ecology* volumen 4 (4), 2002.

Decker H. Elliot S. Smith F. Energy and Material Flow Through the Urban Ecosystem. *Annual Review Energy Environment*. Vol 25: 685-740. 2000

Dirección Nacional de Energía. Ministerio de Industria y Energía. *Balance Energético 2015*. Montevideo, Uruguay, 2015

Eurostat. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A metodological guide*. Luxemburgo: European Comission, 2000.

FAO Food and Agriculture Organization. *Agricultura Mundial: Hacia los años 2015/2030*. FAO, 2002.

FEE (Friends of the Earth, Europe). *Towards Sustainable Development*. Wuppertal: Joachim H. Spangenberg (Ed.). June 1996

Fischer-Kowalski, M. and H. Haberl. Tons, joules, and money: Modes of production and their sustainability problems. *Society and Natural Resources* volumen 10(1): 61–85, 1997.

Fischer-Kowalski, M. Society's metabolism: The intellectual history of material flows analysis, Part 1: 1860–1970. *Journal of Industrial Ecology* 2(1): pag 61-78. 1998

Fischer-Kowalski, M., Hüttler W. Society's metabolism: The intellectual history of material flows analysis, Part 2: 1870–1998. *Journal of Industrial Ecology* 2(4): pag 107- 137. 1998

Foladori G. Pierri N.. *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable.*

Fundación Bariloche. Economía de la Energía. Curso Economía de la Energía. UCUDAL. 2014. México. Universidad Autónoma de Zacatecas. 2005

Fundación Bariloche, Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEM). *Estudios de base para el diseño de estrategias y políticas energéticas: relevamiento de consumos de energía sectoriales en términos de energía útil a nivel nacional.* DNE. Montevideo. 2008.

Global Energy Assessment (GEA). Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future. Cambridge. 2012.

Giampetro, M. Linking technology, natural resources, and socioeconomic structure of human society: A Theoretical proble. *Advances in Human Ecology* 6: 75-130, 1997.

Guasch C.M. Las encuestad de movilidad y los referentes ambientales de los transportes. *Revista de estudios urbanos regionales.* Volumen 38, N° 115, paginas 33-45. Setiembre 2012

Haberl, Helmut. The Energetic Metabolisim of Societies. Part I: Accounting Concepts. *Journal of Industrial Ecology*, volumen 5 (1), 11-33, 2001a.

Haberl, Helmut. The Energetic Metabolisim of Societies. Part II: Empircial Examples. *Journal of Industrial Ecology*, volumen 5 (2), 71-88, 2001b.

Hinterberger F., Giljum S. Material Flow Accounting and Analysis: a Valuable Tool for Analyses of Society-Nature Interrelationships. Sustainable Europe Research Institute (SERI). 2003.

IFIAS (International Federation of Institutes for Advanced Studies). IFIAS Workshp Report. Energy Analysis and Economics. *Resources and Energy*, volume 1, 151-204, 1978.

IEA: International Energy Agency. World Energy Balances Overview 2017. International Energy Agency. 2017.

IEA: International Energy Agency. *Balance de energía mundial. Diagrama de Sankey*. [On line]. [Consulta: 24/05/2018]. Disponible en: <https://www.iea.org/Sankey/#?c=World&s=Balance>. 2015

IEA: International Energy Agency. *Energy Balances of OECD Countries*. International Energy Agency. 2014.

IEA: International Energy Agency. *Energy Technology Perspectives 2015*. International Energy Agency. 2012.

INE: Instituto Nacional de Estadística. *Manual del Censista*. Uruguay: 2011.

INE: Instituto Nacional de Estadística. *Manual del Censista*. Uruguay: 2011. Población por región, sexo, edad simple 1996-2025. [Consulta: 26 de agosto 2018]. Disponible en: <http://www.ine.gub.uy/web/guest/estimaciones-y-proyecciones>. 2011

Kennedy, Christopher, Cuddily, John, Engel-Yan, Joshua. The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, volumen 11 (2). 43-59, 2007.

Körner A.; International Energy Agency. *Transport sector: trends, indicators energy efficiency measures*. [Diapositivas]. *Energy Technology Perspectives 2012*. 2012

Krausmann F. The process of industrialization from perspective of energetic metabolism. *Socioeconomic energy flows in Austria 1830-1995*. *Ecological economics*, volumen 42(2). 177-201. 2002.

Krausmann F. Fischer Kowalski M. Global socio-metabolic transitions. *Long Term Socio-Ecological Research: Studies in Society-Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales*. Springer, Nueva York. 2013.

Ley N° 18.308. *Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible*. Registro Nacional de Leyes y Decretos. Poder Legislativo, Montevideo, Uruguay, 18 de junio de 2008.

Lovins, A. B.. *Soft energy paths: Toward a durable peace*. Cambridge: Ballinger, 1977.

Luhmann, N.. *Social systems, an outline of a general theory*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1984.

MIEM, Ministerio de Industria y Energía. *Balance energético Nacional 2017*.

MIEM, Ministerio de Industria y Energía. *Prueba de campo automóvil 100% eléctrico*. Enero - Mayo 2014.

Mog, J.M. Struggling with sustainability—a comparative framework for evaluating sustainable development programs. *World Development* 32 (12), 2139–2160. 2004

Odum, Eugene P. *Fundamentos de Ecología*. Filadelfia: Saunders, 1971. 823p.

OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) et al. *Energía y Desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Enfoques para la política energética*. Quito: 1997.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). Energy statistics yearbook. Nueva York: Departamento de información y análisis de políticas económicas y sociales, 1997.

ONU HABITAT. Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Brasil: 2012.

Paredes, S. *Análisis termodinámico de los ciclos rankine*. Trabajo final de grado. Cataluña - España. Facultad Náutica de Barcelona. 2015

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo). Informe sobre desarrollo humano. Santafé de Bogotá: Tercer Mundo Editores, 1992.

Rodriguez A. Beder F. *Caracterización industrial regional del Uruguay*. Instituto de Economía. Facultad de Ciencias Económicas y de Administración. UDELAR. Montevideo: 2017.

Sandonato S. Capital Natural y desarrollo económico. El caso de Uruguay en el largo plazo (1870 – 2010). Facultad de Ciencias Sociales, Udelar. 2012.

Serageldin, I. Cómo lograr un desarrollo sostenible. Finanzas y desarrollo, vol. 30, núm. 4, pp. 6-10, diciembre. 1993.

Schandl, H., Hüttler, W., Payer H.. Delinking of economic growth and materials turnover. *Innovation* 12(1): 31-45, 1999.

Schmidt-Bleek, F.. How much environment does a man need? MIPs, the measure for ecological housekeeping. Basel: Birkhäuser Verlag, 1994.

SADS, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Jefatura de Gabinete de Ministros. Presidencia de la Nación. *Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible*. Buenos Aires, Argentina, 2015

Sorrell, S., Dimitropoulos, J.. The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*. Volumen 65, páginas 636 a 649. 2008.

Spangenberg J. *Towards Sustainable Europe*. Wuppertal Institute. Wuppertal. 1996

Unibici, Liberá tu bicicleta, IMFIA. *Desafío Intermodal Montevideo 2014*. Montevideo: Diciembre 2014.

Wilson D.G., Whitt F.R. *Bicycling science*. MIT Press. 1995

Weisz, H.. Steinberger K.. Reducing energy and material flows cities. *Environmental Sustainability*. Vol 2. 185-192. 2010

Wolman, A. The Metabolism of cities. *Scientific American* 213 (3): 179-190, 1965.

World Commission on Environment and Development (WCED). Our common future, Oxford University Press, Oxford, 1987.