

Inversión energética en la evolución de agregados poblacionales

Santander CABRERA ANILLO*

RESUMEN

A fin de detectar limitantes biológicas y termodinámicas del consumo energético en agregados poblacionales, se evaluó la relación del Consumo Energético per Cápita con algunos indicadores biológicos, población y un indicador económico. También se evaluó la relación de Consumo Eléctrico per Cápita con Población en poblados urbanos. Para ello se realizaron correlaciones paramétricas de Pearson, no-paramétricas de Spearman, análisis de regresión simple y gráficas en dos dimensiones entre los indicadores. Se encontró asociación entre los indicadores biológicos y el indicador económico con el consumo de energía a nivel de países. En los agregados de poblados se encontró una relación no-gradual negativa entre estas variables. Se propone la importancia de la Bio-termodinámica en aspectos biosociales de los sistemas humanos y se sugiere una nueva hipótesis para el comportamiento del consumo energético que mezcla la termodinámica irreversible y la teoría optimizante del consumo energético individual en la socialización de agregados humanos.

PALABRAS CLAVES: Consumo energético, Energía, Población, Indicadores Termodinámica Irreversible, Optimización.

Aceptado: 27/III/2001.

* IVCA. Universidad Complutense de Madrid.

ABSTRACT

In order to research biological and thermodynamic factors of energy consumption in human populations, this study measured relation between energy consumption per capita and biological index, population and gross national product per capita (economic index). Also it measured relation between electricity consumption per capita with population of cities and towns. Pearson's parametric correlation coefficients and Spearman's nonparametric correlation coefficients have been made, as well as linear analysis and plot. Biological and economic parameters were correlated with energy consumption per capita of countries. Cities and towns showed nonlinear correlation between this parameters. We propose that Biothermodynamic is very important to research biosociological factors and we also propose a new hypothesis resulting from a combination of the thermodynamic and optimization principles. This new hypothesis could explain the energetic of human societies.

KEY WORDS: Energy Consumption, Energetics, Population, Index, Irreversible Thermodynamic, Optimization.

RÉSUMÉ

Pour detecter paramètres biologiques et thermodynamiques du consommation energieque sur des population ajouté, on a évalué la relation de consommation energieque per capita avec indicateurs biologiques, population et un indicatuer economic. On a fait aussi l'évaluation de la relation de consommation eléctrica per capita avec du population dans les villages urbaines. On a fait des correlation parametriques de Pearson et non parametriques de Spearman dans une analisis de represion simple et grafiques en deux dimensions entre les indicateurs biologiques et les indicateurs economic contre l'énergie aux niveaux du pays. Dans les populations ajouté. On trouve une relation non graduel negative entre cettas variables. Se propose l'importance de la biothermodynamic dans aspects biosociaux sur sistemas humaines et on sugget une nouvelle hipotesys sur le comportement de la consommation energieque qui mêle la thermodynamique irreversible et la theory d'optimitation du consommation energieque individuel sur la socialitation des ajouté humaines.

MOTS CLÉS: Consommation energieque, Energie, Population, Indicateur, Irreversible Thermodynamique, Optimitation.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las interrogantes acerca de la evolución del comportamiento social en el hombre es cuál ha sido el costo de los grados crecientes de su sociabilidad. En esta especie la diversidad de niveles de organización socio-política (países, estados, ciudades, pueblos, regiones agrícolas, etc.) dificulta la obtención de índices para caracterizar estas agrupaciones, ampliando las dificultades para la detección y medición de los parámetros biosociales que las caracterizan.

Desde un punto de vista biológico evolutivo, las dos grandes categorías de fuerzas motrices que determinan la evolución social son la inercia filogenética y la adaptación (WILSON, 1980). La utilización eficiente de la energía puede verse como un componente de la adaptación humana. Sabemos que las formas de utilización de la energía son importantes tanto en individuos solitarios como en sociedades (ODUM, 1981). Si a lo anterior se agregan criterios termodinámicos tales como flujo de energía para estudiar los sistemas biológicos (NICOLIS y PRIGOGINE, 1977; LAMPRECHT y ZOTIN, 1978), podríamos aspirar a caracterizar sistemas sociales biológicos utilizando su consumo de energía.

Una de las variables biológicas más importantes de las sociedades animales es su tamaño poblacional. El tamaño de los grupos en animales sociales es el factor que más correlaciona con el grado de complejidad de sus sociedades (JAFFÉ, 1984; JAFFÉ y HEBLING-BERALDO, 1993). Cabe preguntarse, en el caso de las sociedades humanas, ¿cuál es el comportamiento del consumo energético de los individuos con relación al tamaño de sus sociedades (tamaño poblacional) y cuál de su (s) nivel (es) de organización tiene propiedades compatibles con las de unidades biosociales? En este sentido las sociedades humanas poseen propiedades biológicamente relevantes, tales como las variables asociadas al éxito reproductivo de la especie: elevado peso al momento de nacer, baja tasa de mortalidad infantil y alta expectativa de vida.

En los seres humanos los cambios evolutivos debidos a la selección natural están condicionados y relacionados actualmente con factores socio-económicos (LUNA y MORAL, 1990). De allí que se precise de información proveniente de áreas como antropología, sociología, demografía y hasta economía, para estudiar la biología del ser humano (CHACÓN, 1992). Por ejemplo, la Mortalidad Infantil, indicador utilizado comúnmente en trabajos de sociología y demografía, puede informar sobre el éxito o fracaso de la inversión parental, que es un concepto de amplio uso en estudios biológicos del comportamiento.

El término evolución implica aumento en la frecuencia génica en las generaciones siguientes e implica, por lo tanto, éxito reproductivo de los progenitores. Con este fin los progenitores emplean una estrategia reproductiva que se entiende como el conjunto de conductas que determinan el éxito reproductivo del individuo y que se presentan asociadas entre sí (CHACÓN, 1992). El

esfuerzo reproductivo se puede dividir en esfuerzo de apareamiento y esfuerzo parental. Mientras el primero se refiere al total de inversiones que realiza un individuo para conseguir y mantener su pareja, el esfuerzo parental es el total de inversiones que realiza un progenitor para mantener y cuidar a su cría (KREBS y DAVIES, 1981).

La inversión parental, por su parte, se define como toda conducta emitida por los padres para aumentar la sobrevivencia del hijo (TRIVERS y WILLARD, 1973). La mortalidad infantil es un indicador que puede informar del éxito o fracaso de la inversión parental. Una baja tasa de mortalidad infantil obviamente será mayor garantía del potencial éxito reproductivo de la prole y en consecuencia, de los padres.

Por otra parte, una medida objetiva y confiable para predecir la mortalidad infantil es el peso al nacer (GERONIMUS, 1986; SHAPIRO y col., 1968). Este, a su vez, al lado de la estatura, son dos indicadores del nivel de desarrollo del niño y están asociados a los niveles socio-económicos (BIELICKI y col., 1981; CLEGG y CLEGG, 1989; HAUSPIE y col., 1980; HERMANUSSEN y col., 1988; LASKER y MASCIE-TAYLOR, 1989; ROSENBERG, 1988).

En Tennessee se encontró, en una muestra de 350.000 casos, que mayores niveles de educación de los padres (aspecto asociado a elevado acceso a recursos) están correlacionados negativamente con la tasa de mortalidad infantil (ABERNETHY y YIP, 1990). Aunque estos trabajos incluyen los niveles socio-económicos, dejan de evaluar directamente la relación entre mortalidad infantil y bajo peso al nacer con el consumo de energía total de cada individuo en toda la población.

En cuanto a la expectativa de vida al nacer conviene señalar que es mayor en mujeres que en hombres en virtualmente todas las sociedades modernas industrializadas (ABERNETHY y YIP, 1990). En lo que interesa al presente trabajo se ha reportado que la diferencia de nacimientos de varones y hembras es sesgada por la disponibilidad calórica. De manera que el nacimiento de varones está asociado positivamente con la disponibilidad de calorías mientras el nacimiento de hembras lo está negativamente (WILLIAMS y GLOSTER, 1993). Lo que podría representar una extensión de la proposición que sostiene que a mayores recursos disponibles es mayor la inversión parental sobre los descendientes varones en seres humanos (TRIVERS y WILLARD, 1973; ABERNETHY y YIP, 1990; GAULIN y ROBINS, 1991).

En este siglo y sobre la evolución de sustancias, genes, individuos y poblaciones se ha postulado que existen principios fundamentales aplicables tanto a fenómenos físicos, como químicos y biológicos (HAKEN, 1980). Igualmente se han desarrollado propuestas para explicar la evolución biológica a partir de principios físicos que involucran el uso de recursos y energía de una forma eficiente (MACARTHUR, 1962; HANNON, 1979; NICOLIS y PRIGOGINE, 1977; TORRES, 1991).

La utilización de principios físicos para estudiar sistemas biológicos también ha permitido evaluar células y ecosistemas bajo los dos principios de la termodinámica: ley de conservación de la energía y la tendencia de los sistemas físicos y químicos hacia la máxima entropía (LEHNINGER, 1971; NICOLIS y PRIGOGINE, 1977; LAMPRECHT y ZOTIN, 1978).

En el caso de los sistemas biológicos la termodinámica irreversible (termodinámica de sistemas abiertos en los que tienen lugar procesos irreversibles como reacciones químicas, procesos de difusión, etc.) propone que el aumento de subunidades está asociado a un aumento de orden y, en consecuencia, a un incremento en el consumo energético para mantenerlo (LAMPRECHT y ZOTIN, 1978). Recientemente se ha propuesto que la aplicación de la termodinámica irreversible, la teoría de las estructuras disipativas y la teoría de la complejidad pudieran fomentar la sustentabilidad de la actividad económica humana en la forma de un sistema Bioeconómico (MOHAMMADIAN, 1999).

Por otro lado, se han propuesto dos teorías acerca del uso energético en los sistemas vivos alternas a la termodinámica irreversible. Una de ellas (teoría de optimización) propone que el aumento en complejidad del sistema estaría asociado al ahorro de energía (OSTER y WILSON, 1978); mientras la otra (teoría Neutral) propone que la vida social no tiene efecto en el consumo energético de la sociedad (PETAL, 1978; JENSEN, 1978; GOODWIN, 1982; MACKAY, 1985).

Recientemente se ha propuesto una forma de definir la adecuación biológica en términos de la distancia de un parámetro termodinámico a su valor óptimo. En este caso se propone que los individuos mejor adaptados según el principio de Darwin (1871) serían aquellos que producirían mayor cantidad y más rápidamente moléculas de ATP (trifosfato de adenosina), lo que podríamos llamar máxima eficiencia energética (TORRES, 1991). Forma parte de un esfuerzo por explicar la adecuación biológica de los individuos por el grado en el que sus procesos metabólicos principales satisfacen algunos criterios termodinámicos, lo que propiamente constituye un criterio mecánico (MADDOX, 1994).

Si el consumo de energía en los animales aumenta en el curso de su evolución (SEWERTZOFF, 1934), y que tal evolución está asociada a un aumento de la tasa metabólica basal (tasa de consumo de oxígeno masa-específico en un estado de menor actividad a 20 °C para animales poikilotermos) (DOLNIK, 1968), parece claro que debe existir una «barrera de calor» (temperatura inferior a 45 °C) que impediría un aumento indefinido de temperatura corporal asociado con la evolución de los organismos (ZOTIN y LAMPRECHT, 1996). La existencia de esta barrera sugiere que en el curso de la evolución hayan surgido nuevas alternativas que han aumentado la complejidad (y en consecuencia el consumo energético) de los organismos sin superarla, como sería el caso de la llamada civilización (ZOTIN y LAMPRECHT, 1996).

El hombre, en su particular historia evolutiva, ha manifestado esta tendencia al aumento de consumo energético, como puede apreciarse en el siguiente cuadro (ZOTIN y LAMPRECHT, 1996), que es modificación del de Knorre (1978):

<i>Nivel de Evolución</i>	<i>Tiempo Histórico (años)</i>	<i>Consumo Energético (Kilocalorías/día × individuo)</i>
Hombre Primitivo	– 2.000.000	2.000
Uso del Fuego	– 750.000	5.000
Domesticación de animales	– 6.000	12.000
Revolución Industrial	Años 1800	77.000
Estados Unidos hoy	Años 1990	230.000

En este contexto, y considerando la idea que existe desde el siglo pasado según la cual los fenómenos de la evolución biológica y de la evolución social en humanos estarían sustentados por los mismos principios básicos (SPENCER, 1862; CARNEIRO, 1968), este trabajo se propone estudiar la relación entre consumo energético individual y tamaño de población en sociedades humanas. En él se explorarán elementos que eventualmente pudieran servir para caracterizar los agregados poblacionales. De lograrse definir estos elementos, eventualmente se estaría en capacidad de discriminar aquéllos que pueden ser biológicamente relevantes y que describen los agregados poblacionales humanos de forma suficientemente sustentada como para justificar un análisis del comportamiento de consumo energético. En el estudio de organizaciones bio-sociales en general aportaría un criterio de comparación (energético) compatible entre sociedades animales y humanas. Aunque es difícil precisar el alcance de este tipo de estudio, se pueden avanzar dos aspectos importantes:

- a) Desde un punto de vista utilitario, eventualmente podrían plantearse modelos de funcionamiento óptimo del sistema social, esto es, modelos con amplio margen predictivo. En este sentido, este trabajo es coherente con las actuales concepciones de avance de las sociedades basadas en el desarrollo sustentable y la aplicación de la ecoeficiencia, tesis que plantea para las agrupaciones humanas la búsqueda de los mayores beneficios, tanto ambientales como económicos y tecnológicos a un menor costo (EHRENFELD, 1997).
- b) Por otra parte, y lo que es más importante, este tipo de estudio aportará más elementos de discusión a la Biofísica de los Procesos de Autoorganización (KAUFFMAN, S. 1993), de los procesos evolutivos en general, y en particular a la sociedad humana como paradigma de complejidad y organización de estos procesos en Biología.

2. METODOLOGÍA

Objetivos Generales

1. Explorar el uso de un criterio termodinámico (flujo de energía) para caracterizar y definir agrupaciones humanas desde un punto de vista biológico.
2. Caracterizar elementos fundamentales que confieren coherencia a sistemas sociales humanos.

Objetivos Específicos

1. Explorar el comportamiento del consumo energético con relación a Mortalidad Infantil, Expectativa de Vida y Peso al Nacer a nivel de países.
2. Explorar la relación entre Mortalidad Infantil, Expectativa de Vida y Peso al Nacer con el Producto Nacional Bruto per cápita a nivel de países.
3. Explorar la relación entre tamaño poblacional y el consumo energético per cápita en diferentes niveles de organización: países y poblados.
4. Comparar el patrón de consumo energético con las predicciones de tres hipótesis de trabajo básicas: Termodinámica, de Optimización y Neutral.

Hipótesis específicas a evaluar

Hipótesis nula: El consumo energético per cápita se mantiene constante independientemente del tamaño de la población (hipótesis neutral).

Hipótesis alternativas:

1. El consumo energético per cápita aumenta en sistemas más complejos (hipótesis termodinámica irreversible).
2. El consumo energético per cápita disminuye al aumentar la adaptación del sistema (hipótesis de optimización).

Datos

Las bases de datos de los agregados de países (121) se elaboraron a partir de informes del Banco Mundial de 1980 a 1994.

Las bases de datos de los poblados fueron elaboradas con fuentes de Brasil, Dinamarca, España (sólo Galicia), Estados Unidos y Venezuela. La base de datos del consumo eléctrico total y de los habitantes de los poblados de Brasil fue tomada del SIESE (Sistema de Informacoes Empresariais do Setor de Energia Eletrica). El consumo eléctrico y el número de habitantes corresponden al año 1991. El consumo eléctrico per cápita fue calculado como consumo eléctrico total/población.

La base de datos del consumo eléctrico total y habitantes de los poblados de Dinamarca fue tomada de la Asociación de Empresas Eléctricas Danesas (Danske Elvaerkeres forening). El consumo eléctrico corresponde al de 1992 y la población a los habitantes de 1990. El consumo eléctrico per cápita fue calculado como consumo eléctrico total/ población.

La base de datos del consumo eléctrico y población de Galicia fueron tomados de la REE (Red Eléctrica Española). Ambos son de 1992. Los datos comprenden consumo eléctrico residencial y comercial. En este caso el consumo per cápita se calculó como consumo residencial + consumo comercial/ población.

En el caso de los Estados Unidos se trabajó con datos de los estados de Georgia y Tennessee. La base de datos del consumo eléctrico de poblados del Estado de Georgia es de un grupo de ciudades seleccionadas (se desconoce el criterio utilizado para ello) y fue tomada del *Georgia Business, March-April 1978-1980* y del *Georgia Business and Economic Conditions, March-April, 1981-1983*. La base de datos del número de habitantes fue tomada del *U. S. Department of Commerce, Bureau of the Census, Census of Population, 1980, Number of Inhabitants, Georgia, Final Reports*. Tanto el consumo eléctrico como la población corresponden a 1980. El consumo eléctrico per cápita fue calculado como consumo eléctrico total/ población. La base de datos del consumo eléctrico del Estado de Tennessee fue tomada del *Power Program Summary, Volume II, 1983 Financial and Statistical Report for Municipal and Co-operative Distributors of TVA Power, Tennessee Valley Authority, Knoxville, Tennessee*. Los datos de consumo eléctrico corresponden a 1982. La base de datos de la población fue tomada del *U.S. Department of Commerce, Bureau of the Census, Census of Population: 1980, Number of Inhabitants, Tennessee*. El consumo eléctrico per cápita fue calculado como consumo eléctrico total/población. El consumo eléctrico por suscriptor residencial fue calculado como consumo eléctrico residencial total/número de suscriptores residenciales.

La base de datos del consumo eléctrico y suscriptores de poblados de Venezuela fue tomada de la empresa nacional de energía eléctrica (CADAFE), correspondiendo a los consumos y suscriptores residenciales en poblados de trece estados (comunidades autónomas). El consumo eléctrico por suscriptor residencial fue calculado como consumo eléctrico residencial total/ número de suscriptores residenciales.

Definición de variables y unidades

- Porcentaje de niños con Bajo Peso al Nacer (BPN): Porcentaje de niños que nacen con un peso inferior a 2,5 kilogramos.
- Mortalidad Infantil (M.I): Número de niños fallecidos antes de cumplir un año de edad por cada 1000 nacidos vivos durante un año.
- Expectativa de Vida (EXVIDA): Esperanza de Vida de un recién nacido en años (sin importar el sexo) si prevalecen los mismos patrones de mortalidad a lo largo de su vida que los prevalecientes durante el momento de nacer.
- Expectativa de Vida de la Mujer: Esperanza de vida de una recién nacida en años si prevalecen los mismos patrones de mortalidad a lo largo de su vida que los prevalecientes durante el momento de nacer.
- Expectativa de Vida del Hombre: Esperanza de vida de un recién nacido en años si prevalecen los mismos patrones de mortalidad a lo largo de su vida que los prevalecientes durante el momento de nacer.
- Expectativa de Vida de la Mujer - la del Hombre (HEM-HOM): Diferencia entre la esperanza de vida de la mujer y la del hombre en años.
- Producto Nacional Bruto per Cápita (PNB/C): Producto Nacional Bruto por Individuo expresado en dólares (USA) anuales.
- Tamaño Poblacional: Número de individuos.
- Consumo Eléctrico Total (ET): Consumo de energía de toda la población.
- Consumo Eléctrico Per Cápita (EC): Consumo de energía de cada individuo. Se calcula con el cociente Consumo energético total / Tamaño poblacional en el caso de los países y con el cociente Consumo eléctrico total / Tamaño poblacional en el caso de los poblados.
- Consumo eléctrico fracción: Consumo eléctrico residencial + consumo eléctrico comercial / número de habitantes de cada poblado en Galicia (España).
- Consumo por suscriptor: consumo eléctrico por cada suscriptor durante un año.
- Kilogramos Equivalentes en Petróleo (Kg.Eq.Pet.): Unidad de energía correspondiente a la energía total consumida expresada en sus equivalentes en petróleo. Técnicamente es la cantidad de energía similar a la que produce la combustión de un Kilogramo de petróleo. Se refiere a todas las formas comerciales de energía derivadas del petróleo (petróleo crudo, gas licuado, y petróleo de fuentes no convencionales), gas natural, combustibles sólidos (carbón, lignita y otros derivados) y electricidad primaria (nuclear, hidroeléctrica, geotérmica y otras).
- K.E.P./cápita: Kilogramos Equivalentes en Petróleo consumidos por habitante.

- Megawatios-hora: Energía consumida por toda la población (poblados). 1 mwgawatio-hora es igual a $3,21 \times 10^6$ Kilocalorías.
- Megawatios-hora/habitante: Energía consumida por habitante. 1 megawatio-hora/habitante es igual a $3,21 \times 10^6$ Kilocalorías/habitante.

Procesamiento de los datos

En el procesamiento de datos de los agregados de países se realizaron análisis de regresión simple de los Indicadores Biológicos (MI, Expectativa de Vida sin discriminar sexo, Expectativa de Vida de la Mujer, Expectativa de Vida del Hombre, BPN) vs Consumo de Energía per Capita. Se realizó análisis de correlación entre Consumo Energético per cápita y el Producto Nacional Bruto per cápita.

En el procesamiento de datos de los agregados de poblados se realizaron análisis de correlación paramétrico de Pearson, no-paramétrico de Spearman y la prueba de Mann-Whitney del paquete estadístico SPSS para ambiente *Windows*. Las gráficas fueron realizadas con el graficador del *software sigma plot 2.0* para ambiente *windows*.

3. RESULTADOS

Indicadores Biológicos y Consumo de Energía per Cápita en el agregado de países

Los análisis de regresión simple entre los indicadores biológicos y Consumo de Energía per Cápita muestran una importante asociación en todos los casos analizados. Esta asociación es más elevada cuando el consumo se expresa en forma logarítmica (Tabla 1).

Los análisis de regresión de variables biológicas de la población y su consumo de energía per cápita muestran una relación negativa entre la Mortalidad Infantil y el Consumo de Energía per Cápita (Figura 1, Tabla 1). Se observa una alta asociación del decrecimiento de la Mortalidad Infantil con el aumento en el Consumo energético per Cápita (Figura 1, Tabla 1). La esperanza o expectativa de vida muestra una asociación positiva con el consumo energético per cápita, tanto si se hace sin discriminar sexos, como por separado en mujeres y hombres, esta expectativa de vida también muestra asociación positiva con el Consumo de Energía per Cápita (Tabla 1, Figura 2). Esta diferencia también refleja una asociación positiva y significativa con el Consumo de Energía per Cápita (Tabla 1).

TABLA 1
Variación de los indicadores biológicos explicada por consumo energético per cápita (R^2) y asociación entre éste y los indicadores biológicos (beta)

Consumo (EC) VS	N	R^2	Beta
Mortalidad infantil/1.000 nacidos vivos (*)	120	0,36	-0,604
Porcentaje de bajo peso al nacer (*)	98	0,25	-0,507
Expectativa de vida al nacer (*)	120	0,37	0,612
Expectativa de vida de la mujer (*)	120	0,38	0,620
Expectativa de vida del hombre (*)	120	0,35	0,596
Expectativa de vida de la mujer-la del hombre (*)	120	0,26	0,512
Mortalidad infantil/1.000 nacidos vivos (**)	120	0,78	-0,885
Porcentaje de bajo peso al nacer (**)	98	0,46	-0,682
Expectativa de vida al nacer (**)	120	0,78	0,884
Expectativa de vida de la mujer (**)	120	0,79	0,891
Expectativa de vida del hombre (**)	120	0,76	0,870
Expectativa de vida de la mujer-la del hombre (**)	120	0,45	0,676

(*): VS Consumo Energético per Cápita normal (sin transformación logarítmica).

(**): VS Logaritmo del Consumo Energético per Cápita.

(+): $p < 0,0001$ para todos los valores.

Beta: Valores estandarizados de las líneas de regresión.

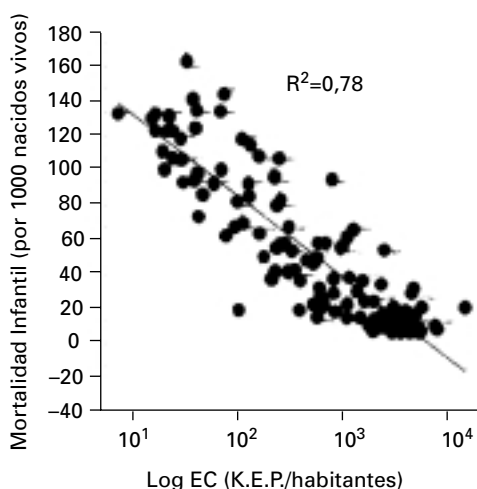


Figura 1. Mortalidad Infantil vs Log de Consumo Energético per Cápita (EC) en agregados de países (1992).

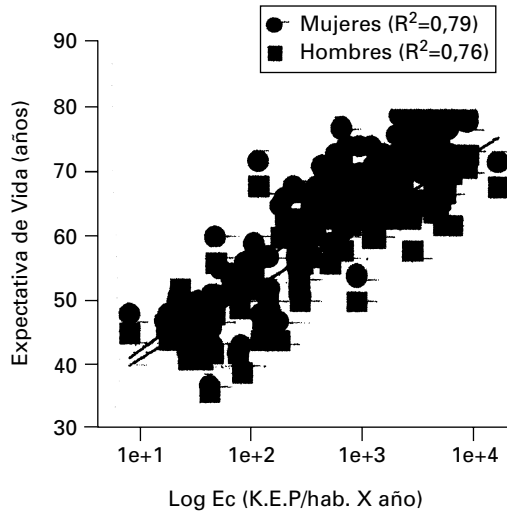


Figura 2. Expectativa de Vida vs Log de Consumo Energético per Cápita (EC) en agregados de países (1992).

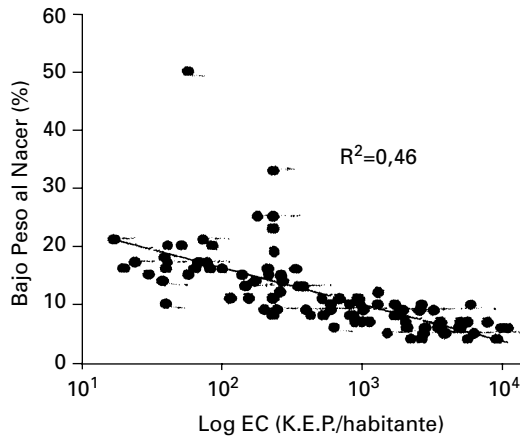


Figura 3. Niños con Bajo Peso al Nacer vs Log de Consumo Energético per Capita (países. 1992).

La expectativa de vida de la mujer fue mayor en 117 de los 120 casos analizados. Solamente en Nepal la expectativa de vida del hombre fue superior a la de la mujer y son iguales sólo en Guinea y Pakistán.

En el caso del indicador Bajo Peso al Nacer también existe elevada asociación con el indicador energético. La disminución del porcentaje de Bajos Pe-

Los países con menor mortalidad al Nacer están asociados al crecimiento del Consumo de Energía per Cápita (Tabla 1, Figura 3). Países de altos Consumos per Cápita de Energía muestran menor porcentaje de nacimientos con bajo peso (Figura 3, Tabla 1).

Comparación de la relación de las variables biológicas con el Consumo Energético per Cápita (EC) y Producto Nacional Bruto per Cápita (PNB/C)

Los análisis de regresión de Mortalidad Infantil y Diferencia entre las expectativas de Vida de la Mujer y del Hombre mostraron mayor asociación con EC que con la variable económica (PNB/C). Los análisis de regresión de la Expectativa de Vida al Nacer y del porcentaje del Bajo Peso al Nacer mostraron valores semejantes de R^2 para Consumo Energético per Cápita y para Producto Nacional Bruto per Cápita. Los análisis de regresión de los Indicadores Biológicos vs ambas variables (EC, PNB/C) en forma logarítmica muestran resultados semejantes a los anteriores. Mortalidad Infantil, Expectativa de Vida al Nacer y la diferencia entre las Expectativas de Vida de la Mujer y la del Hombre muestran una mayor asociación con el Consumo de Energía per Cápita que con el Producto Nacional Bruto per Cápita. Sólo el Bajo Peso al Nacer muestra una asociación semejante con el logaritmo del Consumo Energético per Cápita que con el logaritmo del Producto Nacional Bruto per Cápita (Tabla 2).

El análisis de regresión muestra que existe una asociación positiva entre el Consumo de Energía per Cápita y el Producto Nacional Bruto per Cápita y también una relación elevada entre el logaritmo del Consumo Energético per Cápita y el logaritmo del Producto Nacional Bruto per Cápita (Tabla 2).

TABLA 2

Comparación entre la variación de indicadores biológicos explicada por el Consumo Energético per Cápita y la explicada por el Producto Nacional Bruto per Cápita (valores en R^2)

<i>Indicadores biológicos</i>	<i>EC</i>	<i>PNB/C (\$)</i>	<i>LOG EC</i>	<i>LOG PNB/C</i>	<i>Diferencia (LOG EC - LOG PNB/C)</i>
M.I.	0,36	0,31	0,78	0,67	+ 0,11
EXVIDA	0,37	0,37	0,78	0,72	+ 0,06
HEM-HOM	0,26	0,15	0,45	0,35	+ 0,10
BPN(%)	0,25	0,25	0,46	0,47	- 0,01
EC	—	0,52	—	—	—
LOG EC	—	0,40	—	0,78	—

$p < 0,0001$ para todos los casos.

Los coeficientes de correlación de los indicadores biosociales y económicos con EC son muy semejantes durante los seis años analizados, como se observa en la Tabla 3, donde la consistencia del coeficiente se mide por la variación reflejada en una baja desviación estándar.

TABLA 3
Coeficientes de correlación entre varios indicadores (biosociales y económicos) y consumo energético per cápita durante varios años

<i>Indicador</i>	1979	1986	1989	1990	1991	1992	DE
PNB/C	0,68	0,83	0,70	0,60	0,63	0,78	0,088
M. I.	0,70	0,68	0,69	0,72	0,72	0,78	0,036
EXVIDA	0,78	0,73	0,76	0,75	0,80	0,78	0,025
% BPN	—	0,42*	—	0,46	—	0,46	0,022

DE: desviación estándar. Todos los coeficientes son significativos para valores de $p < 0.0001$.

* Datos de 1985.

Consumo Energético per Cápita en los agregados de poblados.

En este trabajo se estudió la relación entre el consumo energético per cápita y el tamaño poblacional de poblados de Brasil, Dinamarca, Estado de Georgia y Tennessee. Como un indicador indirecto y válido del consumo energético se consideró el consumo eléctrico, tomando en cuenta los valores elevados y semejantes de coeficientes de correlación entre estos indicadores y los indicadores biosociales (Mortalidad Infantil, Expectativa de Vida y Bajo Peso al Nacer) a nivel de países (Tabla 4).

TABLA 4
Comparación entre los coeficientes de correlación de algunos indicadores y el consumo energético per cápita (log ec) y de estos indicadores con el consumo eléctrico per cápita (log elc). Datos de 1990

<i>Indicador</i>	LOG ELC (*)	LOG	EC
<i>Núm. de países</i>	12	12	120
Mortalidad infnantil	0,63	0,66	0,72
Expectativa de vida	0,68	0,72	0,75
Bajo peso al nacer	0,49	0,37	0,46

Todos los coeficientes son significativos para valores de $p < 0.02$.

(*) Logaritmo de Consumo Eléctrico per Cápita.

Los resultados de los análisis de correlación no-paramétrico de Spearman entre Consumo Energético per Cápita y tamaño poblacional mostraron asociación negativa (mayor consumo per cápita en los poblados de menor tamaño y menor consumo en los poblados de mayor tamaño) en todos los casos, como se observa en la Tabla 5. Exceptuando el caso de Georgia, todos fueron estadísticamente significativos (Tabla 5).

Los resultados de los análisis de correlación paramétrico de Pearson entre Consumo Energético per Cápita y el tamaño poblacional de los mismos poblados muestran asociación negativa estadísticamente significativa sólo después de hacer conversiones logarítmicas primeramente en la variable población y luego en ambas, como se observa en la Tabla 5.

TABLA 5
Análisis de correlación paramétrico y no-paramétrico con las variables
(consumo energético per cápita y población) no transformadas
y transformadas logarítmicamente

Ubicación de poblados	N	Spearman		Pearson					
				EC VS		POB.		LOGEC VS	
		r	p	r	p	r	p	r	p
Brasil	64	-0,61	<0,001	-0,13	0,318	-0,44	<0,001	-0,52	<0,001
Dinamarca	43	-0,41	0,006	-0,17	0,273	-0,36	0,019	-0,35	0,02
Georgia	24	-0,12	0,568	-0,04	0,845	-0,13	0,537	-0,09	0,651
Tennessee	48	-0,53	0,001	-0,18	0,222	-0,37	0,01	-0,41	0,004

Exceptuando el coeficiente de correlación obtenido en los análisis de las ciudades de Georgia, después de la transformación logarítmica, todos fueron estadísticamente significativos (Tabla 5). Excepto en el caso de las ciudades de Georgia, estadísticamente no significativos, los coeficientes de correlación no-paramétrico obtenidos en los demás grupos de poblados fueron mayores que los obtenidos en el test paramétrico aun después de hacer las transformaciones logarítmicas tanto en una (EC vs LOGPOB) como en ambas variables (LOGEC vs LOGPOB) (Tabla 5).

Dispersión del Consumo Energético per Cápita

Al comparar los consumos energéticos per cápita extremos en dos agregados de poblados (pequeños y grandes) de Brasil, Dinamarca y Estado de Ten-

nessee se encontró una mayor variación entre los poblados pequeños que entre los de mayor tamaño, como lo refleja el valor mínimo y valor máximo mostrado en la Tabla 6.

Las diferencias comparativas entre ambos agregados de países se resume de la siguiente forma:

Los poblados pequeños de Brasil mostraron una diferencia entre sus EC extremos (valor máximo - valor mínimo) 12 veces superior a la de sus poblados grandes (Tabla 6).

Los poblados pequeños de Dinamarca mostraron una diferencia entre sus EC extremos 2.6 veces superior a la de sus poblados grandes (Tabla 6).

Los poblados pequeños del Estado de Tennessee mostraron una diferencia entre sus EC extremos 2,7 veces superior a la de sus poblados grandes (Tabla 6). En el caso de Georgia, los EC extremos de ambos agregados de ciudades fueron muy similares (Tabla 6).

TABLA 6
Dispersión del Consumo Energético per Cápita en poblados de diferente tamaño

Ubicación de poblados	Rango de población	<i>p</i>	<i>N</i>	\overline{EC}	<i>D.E.</i>	Valor mínimo	Valor máximo	Máx-Mín
Brasil	29 10 ³ - 270 10 ³	<0,0001	32	7,02	10,64	0,06	47,32	47,26
Brasil	270 10 ³ - 10 10 ⁶		32	1,87	0,94	0,24	4,20	3,96
Dinamarca	2,8 10 ³ - 19 10 ³	<0,0001	22	6,49	2,44	3,1	12,7	9,6
Dinamarca	19,5 10 ³ - 500 10 ³		21	4,49	1,19	2,8	6,4	3,6
Georgia	10 10 ³ - 21 10 ³	<0,0001	12	23,59	16,65	7,6	54,7	47,1
Georgia	24 10 ³ - 425 10 ³		12	17,55	13,57	6,9	56,2	49,3
Tennessee	5 10 ³ - 10,8 10 ³	<0,0001	24	32,97	21,26	10,8	106,6	95,8
Tennessee	10,8 10 ³ - 650 10 ³		24	19,27	7,99	8,9	44,1	35,2

EC: Consumo per Cápita promedio.

D.E.: Desviación Estandard.

Consumo eléctrico por suscriptores

En esta sección se estudió la relación entre el consumo eléctrico por suscriptor residencial y el número de suscriptores residenciales totales en poblados del Estado de Tennessee y Venezuela. Igualmente se estudió la relación entre el consumo energético per cápita fracción (en este caso particular calculado como el cociente del consumo residencial + consumo comercial/ número de habitantes de cada poblado) y tamaño poblacional en poblados de Galicia (España). Los resultados de los análisis de correlación entre el consumo ener-

gético por suscriptor residencial y el número de consumidores residenciales totales mostró un mejor ajuste con el test paramétrico que con el no-paramétrico en los poblados del Estado de Tennessee, mientras que en los poblados de Venezuela ambos test brindaron coeficientes de correlación muy similares (Tabla 7).

TABLA 7
Análisis de correlación de Consumo Energético de Suscriptores

<i>Poblados</i>	<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>r</i> <i>Pearson</i>	<i>Sign.</i>	<i>r</i> <i>Speaeman</i>	<i>Sign.</i>
Tennessee	Consumo/ Suscriptor Residencial vs S. Residenciales	83	0,25	0,026	0,20	0,063
Venezuela	Consumo/ Suscriptor residencial vs S. Residenciales	167	0,46	p<0,001	0,47	p<0,001
España	Consumo (Residencial + Comercial)/ Cápita vs población	60	0,07	p=0,588	0,37	p=0,004

En ambos grupos de poblados y con los dos test el sentido de la asociación fue positivo, esto es, poblados menores poseen bajo consumo energético por residente y poblados de más tamaño tienen mayor consumo energético por residente.

El análisis de correlación entre el consumo energético fracción y el tamaño de población mostró correlación no-paramétrica en poblados de la región de Galicia en España (Tabla 7).

4. DISCUSIÓN

Agregado de países

El estudio de la eficiencia en la adaptación de los seres vivos ha sido enfocado energéticamente utilizando criterios como máxima eficiencia en la utilización de los recursos (MACARTHUR, 1962), mínima energía metabolizada

por unidad de biomasa (HANNON, 1979), máxima potencia energética (TORRES, 1991) y, en el ámbito de sociedades animales, como optimización del consumo de oxígeno en colonias de hormigas (JAFFÉ y FONCK, 1994; FONCK y JAFFÉ, 1996). Partiendo de estos antecedentes se estudiaron poblaciones humanas estableciendo como criterio válido de eficiencia energética el consumo energético per cápita en diferentes niveles de organización de las sociedades humanas: países y poblados (ciudades y pueblos).

Si se considera que las estructuras «sociales» humanas obedecen a grupos reunidos geopolíticamente, un primer nivel de análisis serían los países. Es un nivel bastante grueso debido a la heterogeneidad de sus componentes internos. En este nivel se homogeneizan indicadores que pueden presentar mucha variación en subdivisiones del país como en estados o a nivel urbano o suburbano (COX, 1979). Sin embargo, análisis a este nivel han mostrado relaciones entre algunos indicadores biológicos. Los resultados obtenidos en este trabajo en el análisis del agregado de países, que es el nivel más heterogéneo, muestran que baja tasa de mortalidad infantil, elevada expectativa de vida y bajos porcentajes de niños con bajo peso al momento de nacer están asociados a elevados consumos energéticos individuales (Tabla 1, Figuras 1, 2 y 3). Los resultados de la relación entre mortalidad infantil y bajo peso al nacer con el consumo energético per cápita (Tabla 1, Figuras 1 y 3) son coherentes con el carácter predictor de la mortalidad infantil que se le otorga al bajo peso al momento del nacimiento (GERONIMUS, 1986, SHAPIRO y col., 1968). De manera que la relación a la luz de estos resultados sería: bajo peso asociado con alta tasa de mortalidad infantil y ambos, a la vez, asociados con bajo consumo per cápita. Aunque el porcentaje del bajo peso al nacer está menos correlacionado con consumo energético per cápita que mortalidad infantil y expectativa de vida, es importante por cuanto su coeficiente de correlación es cercano a 0.50 (Tabla 1, Figura 3).

Tomando en cuenta que el peso al momento de nacer es una medida confiable de la inversión parental (TRIVERS y WILLARD, 1973) y ésta, a su vez, reflejo del éxito reproductivo de los progenitores, parece tener sentido que aquellas sociedades cuyos individuos consumen más energía tendrán más posibilidades de éxito reproductivo. Lo cual también es coherente con la relación que hay entre expectativa de vida y consumo energético per cápita (Tabla 1, Figura 2). Aquellas sociedades cuyos individuos consumen más energía son, al mismo tiempo, más longevos, lo cual aumenta (sobre todo en los varones por poseer mayor período de fertilidad) las posibilidades de éxito reproductivo.

Sobre la base de que las mujeres sobreviven más a los hombres (ABERNETHY y YIP, 1990), se estudió la relación del consumo energético per cápita con la expectativa de vida discriminando por sexos (Tabla 1, Figura 2). En

sólo dos casos las mujeres tienen la misma expectativa de vida que el hombre (Pakistán y Guinea) y en sólo uno el hombre la supera (Nepal). Los resultados señalan que la diferencia en expectativas de vida entre la mujer y el hombre es mayor en los países con mayor consumo energético per cápita. Partiendo de que altos consumos de energía per cápita están asociados a países más industrializados es posible que las mujeres sean más longevas que los hombres en los países con mayor grado de industrialización. Es evidente que la industrialización ha aumentado la longevidad de ambos sexos, pero también es claro que la industrialización ha beneficiado más a la mujer que al hombre. La creciente diferencia de longevidad, más beneficiosa para la mujer que para el hombre, con respecto al grado de industrialización, hace necesario ampliar el estudio para dilucidar el sentido en que tal diferencia de longevidad otorgue beneficio al éxito de la especie.

Es importante destacar que al comparar el peso de la relación del consumo energético y un indicador económico (PNB/C) con estos tres indicadores biológicos es mayor la relación con el parámetro energético (Tabla 2). Esta relación fue sistemáticamente sostenible a lo largo de los seis años analizados entre 1979 y 1992, lo que descarta un comportamiento puntual o atípico de estas variables (Tabla 3). Esto sugiere que el indicador de consumo energético per cápita en el ámbito de países ofrece información más rica y confiable en lo que se refiere a expectativa de vida, peso al nacer y mortalidad infantil, que el Producto Nacional Bruto per cápita.

Los resultados de correlación obtenidos entre el consumo energético per cápita y los factores biológicos tienen la suficiente coherencia para ser considerados unidades biosociales funcionales. Bajas tasas de Mortalidad Infantil, bajo porcentaje de niños con Bajo Peso al Nacer y elevada Expectativa de Vida asociados a éxito reproductivo y a su vez a altos consumos de energía per cápita sugieren ese carácter biosocial.

Agregados de poblados

Dada la imposibilidad de obtener medidas confiables y completas del consumo energético, fue necesario recurrir a un indicador indirecto. Los cuatro agregados poblacionales estudiados en este trabajo (Brasil, Dinamarca, Estado de Georgia y de Tennessee) más los agregados de suscriptores (Galicia y Venezuela), como en la mayoría de los poblados del mundo industrializado y en vías de industrialización, recurren a la energía eléctrica como fuente mayoritaria de energía. Dos ventajas resaltan en su amplia y extendida utilización: sus variadas fuentes y su alta calidad, esto es, mucha capacidad para efectuar trabajo en comparación con la energía que se requiere para producirla. Su uso

en estas sociedades alcanza tal cobertura en los sectores residenciales, comerciales e industriales, transporte, etc., que la convierten, en estas sociedades, en la fuente energética de mayor demanda (ODUM, 1981).

En este trabajo verificamos la validez del consumo eléctrico como indicador energético estableciendo el *correlato* entre ambas variables con indicadores biosociales (Mortalidad Infantil, Expectativa de Vida y Bajo Peso al Nacer) cuyos datos estuvieron disponibles a nivel de algunos países (Tabla 4). Como puede apreciarse en la Tabla 4, los elevados y semejantes valores de los coeficientes de correlación nos permiten confiar en esta extrapolación y utilizar el consumo eléctrico per cápita como estimador indirecto y confiable del consumo energético per cápita.

Al analizar el comportamiento del consumo per cápita en relación al tamaño del poblado en Brasil, Dinamarca, Estado de Georgia y Estado de Tennessee, se observa que los coeficientes de correlación para estas relaciones son muy bajos y no significativos al tratar los casos con pruebas paramétricas (Tabla 5). Sin embargo, la transformación de la población a escala logarítmica deja apreciar mejor la relación entre estas dos variables. Mientras se mantiene el sentido negativo de la asociación aumenta el valor del coeficiente de correlación de Pearson (Tabla 5). El único caso en el que la relación entre consumo per cápita y tamaño poblacional no es estadísticamente significativa después de la transformación logarítmica fue el de los datos de Georgia, lo que presumiblemente puede deberse a que la base de datos del consumo eléctrico suministrada fue de ciudades seleccionadas bajo un criterio desconocido que tal vez sesgue el análisis.

Se observó un patrón similar cuando se hizo un análisis de correlación con la población y el consumo energético per cápita transformados en escala logarítmica. Tras la transformación de ambas variables se mantiene el sentido negativo de la relación en todos los casos, aumentando ligeramente el coeficiente de correlación con respecto a la relación EC vs LOGPOB en poblados de Brasil y del Estado de Tennessee y manteniéndose muy similar en Dinamarca (Tabla 5). Al igual que la relación anterior el coeficiente de correlación obtenido para las ciudades de Georgia, que en este último caso disminuyó considerablemente, careció de significancia estadística.

Cuando se hizo un test no-paramétrico (Spearman) se observó la misma tendencia negativa y un aumento considerable en los valores de los coeficientes de correlación en los cuatro grupos de poblados, como se observa en la tabla 5. El hecho de que el test paramétrico no mejore los coeficientes de correlación obtenidos con el test no-paramétrico aún después de transformaciones logarítmicas en una y en ambas variables (Tabla 5), sugiere que en los poblados analizados la relación entre el consumo energético per cápita y el tamaño poblacional es un fenómeno no-paramétrico en el que el consumo energético

individual tiende a disminuir de manera no lineal con el aumento del tamaño de la población; esto es, a optimizarse de manera no lineal. De manera que en el conjunto de poblados analizados aquellos de mayor tamaño consumen menos energía por individuo.

Si se desagregan los poblados en dos grupos, de menor población y de mayor población, se observa una relación no lineal del consumo (Tabla 6). Lo que hace destacar la no linealidad entre el consumo y el tamaño poblacional es que los poblados de menor tamaño tienen mucha mayor variación del consumo energético per cápita que los poblados de mayor tamaño, que muestran variaciones relativamente pequeñas en poblados de Brasil, Dinamarca y Estado de Tennessee, como se aprecia en la tabla 6. Esta relación no lineal puede ser reflejo de umbrales de consumo energético per cápita a medida que aumenta la población de un poblado.

En el análisis del consumo energético sectorizado por suscriptores en poblados de Venezuela y del Estado de Tennessee se refleja una relación lineal positiva entre el consumo energético por suscriptor residencial y el tamaño poblacional; mientras que en poblados de Galicia (España) muestra una relación positiva pero no-paramétrica entre consumo comercial + residencial per cápita y tamaño poblacional (Tabla 7).

Estos resultados sugieren que la asociación negativa entre consumo energético per cápita y tamaño poblacional observada es un fenómeno que involucra la parte de consumo energético total (sumatoria del sector industrial, comercial y otros) del poblado y excluye el consumo residencial. Podemos observar, en los tres grupos de poblados evaluados, que no se cumple la hipótesis de la termodinámica irreversible. Sin embargo, en subunidades del sistema (sector residencial) esta teoría sí se cumple. Esto sugiere que en los poblados de mayor tamaño (en países industrializados y en vías de industrialización) el aumento de complejidad que acompaña al aumento de población no implica un mayor consumo energético por individuo. Debe destacarse que en este trabajo no se discrimina entre pueblo y ciudad, considerándose un término más general, poblados, cuyo criterio de definición es únicamente el poseer más de 2500 habitantes.

En síntesis, estos resultados indican que la tendencia general en los poblados es a optimizar el uso energético per cápita de manera no lineal a medida que aumenta el tamaño poblacional desde poblados de 2500 habitantes. Como una extensión de la teoría de la termodinámica irreversible, la cual establece que el aumento de subunidades en los sistemas biológicos está asociado a un aumento de orden y, en consecuencia, a un incremento en el consumo energético para mantenerlo (LAMPRECHT y ZOTIN, 1978), cabría esperar que a mayor tamaño de la población existiese mayor consumo energético individual. Sin embargo esto sólo se cumple a medias. Aunque se da el fenómeno, totalmente

explicable, que poblados más grandes consumen más energía total, la respuesta no es la misma cuando se toma en cuenta el consumo energético per cápita, que se ajusta más a la evaluación del consumo de energía de cada individuo.

La relación entre consumo energético per cápita y el tamaño poblacional no puede ser explicado completamente por la teoría de la termodinámica irreversible (LAMPRECHT y ZOTIN, 1978) y es parcialmente coherente con la teoría de optimización. El hecho de que en los poblados exista asociación entre consumo energético residencial y el número de residentes (o suscriptores) sugiere que la teoría termodinámica irreversible se cumple parcialmente. Es decir, en algunos niveles (residencial) dentro del sistema total el consumo energético aumenta con el aumento de la población (residencial en este caso). Esto quiere decir que en la tendencia optimizante del consumo energético per cápita (utilizando la energía eléctrica como indicador de éste) queda excluido el sector residencial. Esto deja como posibles responsables de esta tendencia optimizante a los sectores industrial, comercial y otros (electricidad de vías públicas, dependencias de gobierno, servicios, etc.).

Estos poblados parecen representar unidades funcionales cuyos individuos tienden a optimizar el uso de la energía a medida que aumenta el tamaño poblacional.

Aunque no se pudieron obtener datos de consumo energético de poblados muy pequeños, es razonable asumir que una población sin habitantes tiene consumo energético igual a cero. Es posible que ocurra un salto en el consumo después de que la población alcance un tamaño crítico. Este salto se ha medido en sociedades de insectos (JAFFÉ y FONCK, 1994; FONCK y JAFFÉ, 1996; MURADIAN, 1997) y es análogo a los sistemas fisicoquímicos de transición de fases, compatible con predicciones termodinámicas sobre la energía requerida para la organización de sistemas complejos abiertos (LAMPRECHT y ZOTIN, 1978). De manera que estos resultados pueden interpretarse como un incremento discontinuo en el promedio del consumo energético individual en una sociedad cuando se ha establecido una estructura social mínima, con la particularidad de presentar una bifurcación, que es característica de un sistema disipativo. Una vez que se ha establecido la sociedad, los agregados humanos parecen optimizar el consumo energético de la sociedad, de manera que las grandes ciudades consumen menos electricidad por habitante que aquellas relativamente más pequeñas (CABRERA y JAFFÉ, 1998).

Sin embargo, este trabajo no es concluyente en cuanto a tamaños poblacionales a partir de los cuales pueda hablarse de optimización, puesto que en los grupos de poblados de menor tamaño se observa mucha variación en el comportamiento del consumo energético per cápita. Esto indica que el alcance no llega a discriminar en la calidad de consumos energéticos de ciudades o pue-

blos dado que no se estableció ningún criterio para diferenciar uno de otro (pueblo-ciudad). Para esto es recomendable incluir varios criterios de diferenciación de ambas entidades y hacer las evaluaciones de consumo energético por separado.

No obstante, considerando la variable tamaño poblacional como indicador de la complejidad del sistema, estos resultados abren nuevos enfoques en la caracterización de sociedades humanas, más específicamente nos conducen a pensar en que la Bio-termodinámica pueda ayudar a dilucidar características globales relacionadas con aspectos biosociales en los sistemas de organización humanos.

5. CONCLUSIONES

- Los países y los poblados pueden considerarse unidades biosociales.
- En los países el criterio energético correlaciona mejor que el criterio económico con criterios biosociales.
- La Bio-termodinámica ayuda a dilucidar características globales relacionadas con aspectos biosociales en los sistemas humanos.
- Considerando los resultados globales se propone una nueva hipótesis, mezcla de los principios de optimización y termodinámicos, que asume lo siguiente:
 1. La hipótesis neutral no es válida.
 2. El costo energético del arreglo de los organismos es una función discontinua del tamaño del sistema.
 3. Hay un costo energético de socialización que depende principalmente del grado de complejidad del sistema. Este costo está termodinámicamente relacionado con la energía que se requiere para realizar la actividad necesaria para establecer una sociedad funcional.
 4. Las sociedades establecidas optimizan el promedio de consumo energético por individuo a medida que aumentan de tamaño, donde sociedades más avanzadas son más eficientes en el uso de la energía.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ABERNETHY, V. y YIP, R. 1990. *Parent Characteristics and Sex Differential Infant Mortality: The Case in Tennessee*. Human Biology 62: 279-290.
- BANCO MUNDIAL. 1980, 1981, 1982, 1983, 1987, 1988, 1990, 1991, 1992, 1993. *Informe sobre el Desarrollo Mundial 1980*. Washington, D.C.

- BIELICKI, T; SZCSOTKA, H and CHARZEWSKI, J. 1981. *The influence of three socio-economic factors on body height in polish military conscripts*. En Chacón-Puignau, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar. Caracas. 168 pp.
- CABRERA, S. and JAFFE, K. 1998. *On the energetics cost of human societies: energy consumption as an econometric index*. *Interciencia*, 23, n.º 6. 350-354 pp.
- CARNEIRO, R. 1968. *Ascertaining, testing, and interpreting sequences of cultural development*. *Southwestern Journal of Anthropology* 24: 354-374.
- CHACÓN-PUIGNAU, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar. Caracas. 168 pp.
- CLEGG, E. and CLEGG, S. 1989. *Birth dimensions in Melanesian and Indian Fijians and their relationships with maternal and socioeconomic factors*. En Chacón-Puignau, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Caracas. 168 pp.
- COX, K. R. 1979. *Location and Public Problems. A Political Geography of the Contemporary World*. Maaroufa Press, Inc. Chicago. 352 pp.
- DARWIN, Ch. 1871. *The descent of man, and selection in relation to sex*. En Wilson, E.O. 1980. *Sociobiología, la nueva síntesis*. Ediciones Omega, Barcelona, España, 701 pp.
- DOLNIK, V. R. 1968. *Energy metabolism and animal evolution*. En Zotin, A. I. and Lamprecht, I. 1996. *Aspects of Bioenergetics and Civilization*. *Journal of Theoretical Biology* 180: 207-214.
- FONCK, C. y JAFFÉ, K. 1996. *On the Energetic Cost of Sociality*. *Physiology and Behavior* 59: 713-719.
- GAULIN, S. y ROBINS, C. 1991. *Trivers-Willard Effect in Contemporary North American Society*. *American Journal of Physical Anthropology*, 85: 61-69.
- GERONIMUS, A. 1986. *The effects of race, residence, and prenatal care on the relationship of maternal age to neonatal mortality*. En Chacón-Puignau, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar. Caracas. 168 pp.
- GOODWIN, B. C. 1982. *Development and Evolution*. *Journal of Theoretical Biology*, 97: 43-55.
- HAKEN, H. 1980. *Synergetics*. A workshop. Edited by H. Haken. New York, 274 pp.
- HANNON, B. 1979. *Total energy costs in ecosystems*. En Jaffé, K. and Fonck, C. 1994. *On the Energetic cost of sociality*. *Il Nuovo Cimento D*. 16: 543.
- HAUSPIE, R.; DAS, S.; PREECE, M and TANNER, J. 1980. En Chacón-Puignau, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar. Caracas. 168 pp.
- HERMANUSSEN, M.; HERMANUSSEN, B. and BURMEISTER, J. 1988. En Chacón-Puignau, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar. Caracas. 168 pp.
- JAFFÉ, K. 1984. *Negentropy and the evolution of chemical recruitment in ants*. *Journal of Theoretical Biology*, 106: 587-604.
- JAFFÉ, K. and FONCK, C. 1994. *On the Energetic cost of sociality*. *Il Nuovo Cimento D*. 16: 543.

- JAFFÉ, K. and HEBLING-BERALDO, M. 1993. *Oxygen consumption and the evolution of order: negentropy criteria applied to the evolution of ants*. *Experientia*, 49:587-592.
- JENSEN, T. F. 1978. *Annual production and respiration in ant populations*. En Jaffé and Fonck, C. 1994. *On the Energetic cost of sociality*. *Il Nuovo Cimento D*. 16: 543.
- KAUFFMAN, S. 1993. *The Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press. New York.
- KREBS, J. R. and DAVIES, 1981. *An Introduction to Behavioural Ecology*. Blackwell Scientific Publications. Oxford London, 292 pp.
- LAMPRECHT, I. y ZOTIN, A. I. 1978. *Thermodynamics of Biological Processes*. Walter de Gruyter, Berlin, 427 pp.
- LASKER, G. and MASCIE-TAYLOR, C. 1989. *Effects of social class differences and social mobility on growth in height, weight and body mass index in a british cohort*. En Chacón-Puignau, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar. Caracas, 168 pp.
- LEHNINGER, 1975. *Bioenergética*. Fondo Educativo Interamericano. Bogotá. 242 pp.
- LUNA, F. and MORAL, P. 1990. En Chacón-Puignau, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar. Caracas. 168 pp.
- MACARTHUR, R. H. 1962. *Some generalized theorems of natural selection*. *Genetics* 48: 1893-1897.
- MACKAY, W. P. 1985. *A comparison of energy budgets of three species of Pogonomyrmex harvester ants*. En Jaffé, K. and Fonck, C. 1994. *On The Energetic cost of sociality*. *Il Nuovo Cimento D*. 16: 543.
- MADDOX, J. 1994. *Is Darwinism a thermodynamic necessity?* *Nature* 350: 653.
- MOHAMMADIAN, M. (1999). *Bioeconomía: nuevo paradigma para la problemática ambiental*. Observatorio Medioambiental, No. 2. 41-56 pp. Servicio de Publicaciones Universidad Complutense. Madrid.
- MURADIAN, R. 1997. *Consumo de energía de la colonia en Nasutitermes ephtatae*, Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad Simón Bolívar. Caracas. (Muradian, R., Issa, S. And Jaffe, K. On the energetics of termite colonies. *Physiol. Behavior*. Submitted).
- NICOLIS, G. and PRIGOGINE, I. 1977. *Self-organization in Nonequilibrium Systems*. Wiley-Interscience, N. Y. 491 pp.
- ODUM, H. T. and ODUM, E. C. 1981. *Energy Basis for Man and Nature*. (2.^a ed.) McGraw-Hill Inc. New York. 337 pp.
- OSTER, G. and WILSON, E. 1978. *Caste and Ecology in the Social Insects*. Princeton University Press, New Jersey. 352 pp.
- PETAL, J. 1978. En Jaffé, K. and Fonck, C. 1994. *On the Energetic cost of sociality*. *Il Nuovo Cimento D*. 16: 543.
- ROSENBERG, M. 1988. *Birth weights in three Norwegian cities, 1860-1984. Secular trends and influencing factors*. En Chacón-Puignau, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar. Caracas, 168 pp.

- SEWERTZOFF, A. N. (1934). *Main Direction of the Evolutionary Process*. En Zotin, A.I. and Lamprecht, I. 1996. *Aspects of Bioenergetics and Civilization*. Journal of Theoretical Biology, 180: 207-214.
- SHAPIRO, S.; SCHLESINGER, E. and NESBITT, R. 1968. *Infant, perinatal, maternal and childhood mortality in the United States*. En Chacón-Puignau, G. 1992. *Estrategias reproductivas de la población venezolana*. Tesis de Maestría. Universidad Simón Bolívar. Caracas, 168 pp.
- SPENCER, H. 1862. *Principles of Sociology*. En *The Evolution of Society*. 1967. Robert Carneiro Ed. The University of Chicago Press, Chicago, p. xvii.
- TORRES, J. L. 1991. *Natural Selection and Thermodynamic Optimality*. Il Nuovo Cimento 13D: 177-185.
- TRIVERS, R. L. and WILLARD, D. E. 1973. *Natural selection of parental ability to vary the sex ratio of offspring*. Science, 179: 90-91.
- WILLIAMS, R. J. and GLOSTER, S. P. 1993. *Human Sex Ratio As It Relates to Caloric Availability*. Social Biology, 285-291.
- WILSON, E. O. 1980. *Sociobiología, la nueva síntesis*. Ediciones Omega, Barcelona, España, 701 pp.
- WOOLFENDEN, G. E. 1975. *Florida scrubjay helpers at the nest*. En Krebs, J.R. and Davies, 1981. *An Introduction to Behavioural Ecology*. Blackwell Scientific Publications. Oxford London, 292 pp.
- ZOTIN, A. I. and LAMPRECHT, I. 1996. *Aspects of Bioenergetics and Civilization*. Journal of Theoretical Biology, 180: 207-214.