

Sostenibilidad urbana y transición energética: un desafío institucional

ARMANDO PAÉZ GARCÍA

- Introducción
- **Energía, sociedad y urbanización**
- Energía, sostenibilidad y gestión urbana
- Urbanismo y energética urbana
- Gestión urbano-energética
- La dimensión institucional de la gestión urbano-energética en México
- Conclusiones y recomendaciones
- Bibliografía
- Siglas y símbolos
- Anexos

2 Energía, sociedad y urbanización

En este capítulo se presentan autores que han analizado la relación energía-sociedad y los elementos que algunos de ellos han aportado para entender los desafíos que debe enfrentar la ciudad en términos energéticos. También se exponen las transiciones energéticas de la humanidad, especialmente las relacionadas con los combustibles de origen fósil, y cómo el proceso de urbanización ha sido determinado desde el siglo XX por el consumo de petróleo.

■ Energética social

Energía y sociedad

Hemos visto con Vaclav Smil que la energética es un difuso campo de conocimiento que nunca ha adquirido la clara identidad de otras disciplinas. La energética social, que aquí se define como el estudio de la relación entre el uso de la energía y la supervivencia, organización y desarrollo social, no existe como una subdisciplina definida, su análisis ha sido marcado por la discontinuidad, diversos enfoques y por periodos donde la atención ha sido somera o inexistente (Rosa, Machlis & Keating 1988; Fernández-Galiano 1991).

El término energética social se relacionó al comenzar el siglo XX con estudios de sociofisiología, donde destaca la obra del químico industrial Ernest Solvay (1906), posteriormente se utiliza el concepto con un sentido político apegado al reformismo social que impulsó y practicó este autor (Barnich 1919; Solvay 1919).

Las primeras reflexiones sobre la relación energía-sociedad las expresa el filósofo Herbert Spencer (1862) al apuntar, bajo una perspectiva evolucionista, que la energía parecía ser la causa de las diferencias materiales existentes entre las sociedades, a más energía consumida mayor heterogeneidad, más grande el avance (Rosa, Machlis & Keating 1988). Tres años más tarde el economista Stanley Jevons publicó *The coal question* (1865), donde plantea la declinación de la grandeza británica ante el agotamiento del carbón, argumentó que ninguno de los recursos energéticos existentes lograría sustituirlo.

Décadas después, Wilhelm Ostwald retoma el enfoque de Spencer, para él la base de todo cambio social es la transformación de energía cruda en energía útil, mientras más grande sea el coeficiente de energía útil obtenido más grande será el progreso de la sociedad, la historia de la civilización se convierte en la historia del control del progreso del hombre sobre la energía (Ostwald 1907, 1909).

Frederick Soddy, al igual que Ostwald, cruzó las fronteras de la química para concentrarse en la energética de la sociedad, sólo que no tomó el enfoque evolucionista y planteó, teniendo en cuenta las leyes de la termodinámica, los límites del consumo energético, ya que la energía, a diferencia de los materiales, no puede ser reciclada. Este autor es el primero en mirar a la sociedad con un enfoque entrópico. Advirtió que la energía es un factor crítico para las actividades de la sociedad, las leyes que expresan sus relaciones con la materia también controlan el ascenso y la caída de los sistemas políticos y el bienestar físico de la gente en general (Soddy 1912, 1922, 1926).

Antes de la publicación de los libros de Ostwald y Soddy, el biólogo Patrick Geddes identificó dos fases en la era industrial, la *paleotécnica* y la *neotécnica*, lo que las distingue, además de aspectos cualitativos, es el cambio energético. La primera es una etapa técnica burda y de desperdicio caracterizada por el carbón, el vapor y productos mecánicos baratos; la segunda es más avanzada, donde predomina la electricidad (Geddes 1904, 1905). Una década más tarde reafirmó su discurso indicando que la fase neotécnica está en función de la conservación y evolución de la vida a través de la conservación de la energía y la organización del ambiente. La teorización sobre ese ambiente lo convirtió en referencia para pensar la ciudad considerando factores sociales, ecológicos y energéticos, propuso buscar la eficiencia energética, sustituir el carbón, limitar el crecimiento de la ciudad (de las conurbaciones), considerar el contexto regional y señaló la importancia del suelo rústico alrededor de las urbes para crear cinturones agrícolas y reservas forestales (Geddes 1915).

Las ideas de Geddes son la base del pensamiento del historiador Lewis Mumford, quien bajo una perspectiva teleológica, ya en la década de 1930, habla explícitamente de los “elementos” o “procesos esenciales” de la energética social: incrementar la conversión de energía, hacer eficiente la producción, regularizar el consumo y socializar las actividades creativas (Mumford 1934).

En la década de 1930 se creó en Estados Unidos una organización política llamada Technocracy Incorporated, entre sus objetivos están promover el avance de la ciencia y la tecnología para alcanzar el bienestar social. Uno de los temas que analizó con especial atención en sus primeros años fue la cuestión energética, dando importancia a la teoría de que el cambio social está determinado o limitado por la cantidad de energía exosomática disponible para la sociedad, el tecnócrata debía ser capaz de entender las interrelaciones entre la vida, la energía y los recursos destacando el lugar “perturbador” del ser humano en este proceso, ya que había aprendido a desviar una parte creciente de energía para su propio uso. La Tecnocracia planteó hacer una

interpretación termodinámica de los fenómenos sociales. Uno de sus miembros fue M. King Hubbert, autor que constituye para Joan Martínez-Alier & Klaus Schlüpmann un eslabón entre la energética social anterior a la década de 1930 y el estudio ecológico de la población humana y los recursos naturales de las décadas de 1960 y 1970 (Martínez-Alier & Schlüpmann 1991).

Solvay, Geddes, Ostwald, Soddy, Mumford y otros autores que analizaron la cuestión energética con un enfoque social en las primeras décadas del siglo XX, fueron duramente criticados y descalificados por el economista Friedrich Hayek, quien los acusó de promover un reduccionismo energético que ignoraba aspectos cualitativos (subjetivos) de la actividad humana y de pretender ser “mentes maestras” capaces de controlar los actos de la gente (Hayek 1943, 1944). La crítica se entiende si se toma en cuenta el liberalismo económico defendido por este autor, ya que el reformismo social, la regularización del consumo y la intervención Estatal estaban (están) en contra de su doctrina. Ahora bien, Martínez-Alier & Schlüpmann critican a su vez a Hayek por ignorar el aporte que los denominados “energéticos sociales” hicieron para entender el papel de los flujos energéticos en la economía y la relación entre el uso de la energía y el desarrollo de la cultura, de hecho consideran a muchos de ellos como predecesores de la economía ecológica (Martínez-Alier & Schlüpmann 1991).

Mientras Hayek descalificaba a los “energéticos sociales”, el antropólogo Leslie White comenzaba a explorar la relación entre la energía y la evolución de la cultura teniendo en cuenta la obra de Ostwald, Soddy y Alfred Lotka, quien estudió la evolución natural señalando la importancia del incremento del flujo energético en los sistemas (Lotka 1922) (White 1943, 1949). La exposición más detallada del trabajo de White la encontramos en *The evolution of culture* (1959), en este libro sintetiza su análisis formulando una ley sobre el desarrollo (o evolución) cultural: la cultura avanza con base en el incremento de la cantidad de energía aprovechada per cápita por año y/o al incremento de la eficiencia de los medios para controlar la energía. Esto es consecuencia de una mayor utilización de energía no humana y se refleja en el aumento de la cantidad de bienes y servicios producidos por unidad de trabajo humano. Apunta que los instrumentos mecánicos, los factores ambientales, las instituciones, las creencias, la inteligencia, los ideales, etc., son indudablemente esenciales, pero la energía es la fuerza dinámica que anima los sistemas culturales y los lleva a niveles y formas más elevados (White 1959).

El sociólogo Frederick Cottrell, también a mediados del siglo XX, estableció una distinción entre sociedades o sistemas de baja y alta energía. Las primeras son aquellas que dependen por entero de la producción de alimentos; las segundas aprovechan los recursos existentes en la naturaleza para obtener energía excedente. Cottrell es de los primeros en tratar el tema de la energía neta de la sociedad (Cottrell [1955] 1958).

En la década de 1960 se registra un vacío en el tratamiento de la energética social, son años de crecimiento económico y de abundancia en la oferta de hidrocarburos y

carbón. Lo más relevante sería la aparición en el análisis energético de las hoy denominadas *fuentes renovables de energía o energías renovables*.²⁷ En esos años también tomó fuerza la utopía nuclear.²⁸

La década de 1970 es una de las más ricas en el estudio de la relación energía-sociedad, ya que además del análisis antropológico comienzan a pronunciarse ecólogos y economistas, publicando libros que han determinado la comprensión de la problemática energética, ambiental y económica, producción teórica que surge como una mirada crítica a los efectos de la industrialización.

En 1971 se publicaron dos de las obras más importantes en el análisis energético de los sistemas humanos. Una de ellas es *Environment, power, and society*, de Howard Odum, quien utiliza el lenguaje de la energética (fuente, entrada, producción, flujo, receptor, depósito, consumo, interacción, disipación de calor) para estudiar a través de diversos modelos a los sistemas ecológicos y a la sociedad humana, concentrándose especialmente en la producción de alimentos, la economía, la política y la religión.

Destaca la importancia que ha tenido el petróleo en la sustitución de las especies naturales y la industria alimentaria, por lo que además de ver con preocupación el aumento de la actividad metabólica del ser humano, consecuencia del sistema industrial,²⁹ tiene en cuenta que el consumo de este combustible es algo temporal. Considera que la economía y la sociedad, a través de la organización política y la religión, deben ajustarse a los límites que impone la energética adoptando un sistema estacionario, reduciendo el crecimiento económico y poblacional y su impacto en el ambiente (Odum 1971).

²⁷ Los primeros simposios sobre la energía solar y la eólica se celebraron a mediados de la década de 1950, algunos de ellos fueron convocados por la Association for Applied Solar Energy (hoy International Solar Energy Society), fundada en Estados Unidos en 1954. En esos años Naciones Unidas comenzó a estudiar el potencial de la energía solar, la eólica, la geotérmica, de las mareas y la térmica de los mares (UN 1957), organizando en Roma, en 1961, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Nuevas Fuentes de Energía (UN 1962). Hubbert las denomina “fuentes continuas” u “otras fuentes de energía”, incluyendo la fuerza del agua (Hubbert 1962, 1969). Farrington Daniels profundiza en la energía solar, mencionando el fenómeno fotoeléctrico (Daniels 1964), el cual también comenzó a ser analizado con fines prácticos en la década de 1950.

²⁸ Radovan Richta escribió en *La civilización en la encrucijada*: “Está claro que es precisamente la utilización de la *energía nuclear* la que puede satisfacer las exigencias del crecimiento universal de las fuerzas productivas técnicas, facilitar fuentes inagotables de energía, liberadas sobre la base del principio automático, que se presenta aquí como una necesidad técnica” (Richta [1969] 1971, p. 21).

²⁹ Indica Odum que en el sistema industrial los seres humanos resuelven casi todos sus asuntos con maquinaria activada con combustibles de origen fósil, que en términos metabólicos hacen al hombre una especie gigante, ya que el consumo y los desechos exceden la producción y la capacidad del ambiente para absorberlos. De hecho Odum señala que en la medida que el ser humano recibe energías auxiliares de los combustibles de origen fósil usa cada vez menos la red de especies naturales, las reemplaza con actividades de su propia sociedad (Odum 1971).

La otra obra es *La ley de la entropía y el proceso económico*, de Nicholas Georgescu-Roegen, este autor toma conceptos como energía disipada, desorden, alta y baja entropía, procesos irreversibles e irrevocables, modelo de flujo-fondo, entre otros, para hacer una crítica a la economía: el proceso económico no puede proyectarse *ad infinitum*, no es un proceso cerrado o circular, sino unidireccional, ya que solamente transforma baja entropía en alta entropía, sólo produce desechos y contaminación, el proceso económico es entrópico (Georgescu-Roegen [1971] 1996).³⁰

El análisis entrópico de la sociedad también es desarrollado por otros autores. Eduardo Césarman, médico cardiólogo, humanista y escritor, formula en *Hombre y entropía* ([1974] 1982), extensa obra sobre la energética en general y sobre la energética social en particular, una ley sobre la *entropía social*:

El sistema-sociedad es un organismo compuesto por materia social — la que constituye una época posterior en la evolución de la materia inerte y la materia viva— que utiliza y degrada la energía para integrarse, estructurarse y desarrollarse con el propósito de mantener y acrecentar su diferenciación, su desequilibrio, su inestabilidad y su menor probabilidad de ser, en contra de la tendencia del universo a la anarquía, al caos, a la redistribución energética, a la mayor probabilidad: a la entropía máxima. Los fenómenos que acontecen en el sistema-sociedad y su comportamiento se plantean en función del conflicto que existe en la naturaleza en relación al movimiento de la materia viva y de la materia social para negativizar —temporalmente— su entropía, a expensas de la entropía negativa de sus alrededores. Son sistemas que se organizan creando el caos a su alrededor (p. 10, vol. II).

Césarman propone determinar el funcionamiento de la sociedad a partir de alguna ley que emane del comportamiento de la materia, no de la ideología, constante error cometido por los sociólogos. Encontró en la entropía su respuesta (Césarman [1974] 1982).

El antropólogo Richard Adams abordó el tema de la energía y la sociedad llamando energética “al estudio antropológico de los procesos energéticos”. Su intención es entender, partiendo también de la segunda ley de la termodinámica, los modos en que las sociedades adoptan diferentes formas y pasan por diferentes procesos debido al tipo y a la cantidad de energía de la que están compuestas, ya que operan como estructuras disipativas. Su tesis general señala que la relación particular del ser humano con el ambiente es fundamentalmente similar a la de cualquier otra especie, por lo que desarrolla un esfuerzo continuo por ejercer control suficiente para extraer energía del medio, sin embargo, algo particularmente típico del hombre es su modo

³⁰ Indica Martínez-Alier que este autor no fue el primero en mirar a la economía desde la termodinámica, pero su obra es la más influyente, de hecho es considerada como el origen de la escuela de la economía ecológica, superando lo expuesto por los energeticistas sociales (Martínez-Alier 1994).

de comportamiento cultural, el cual lo lleva a buscar ese control mediante la redefinición constante de sí mismo y de su ambiente, lo que le permite desarrollar su sociedad hasta convertirla en un sistema de constante expansión, la cual depende de una combinación adecuada de las formas energéticas a su disposición (Adams [1975] 1983).

Ignacy Sachs, economista, principal teórico del *ecodesarrollo*,³¹ vislumbra una nueva civilización a partir de la bioconversión solar, tanto para obtener energía, diversos alimentos y materias primas para la industria con base en las características de cada ecosistema, como para sustituir a los productos obtenidos de la petroquímica. Este autor toma en cuenta el encarecimiento del petróleo, el problema de la energía neta y el debate acerca de la importancia de las fuentes energéticas “no convencionales”, ya que éstas pueden contribuir a la eliminación del desperdicio de energía y aprovecharse para usos domésticos y de pequeñas unidades productivas (Sachs 1982).

Desde una perspectiva antropológica, Marvin Harris intenta explicar la transición demográfica acontecida en el siglo XX, considera que ésta ha sido provocada por la conjunción de tres acontecimientos culturales extraordinarios: la revolución del combustible, la revolución de la contracepción y la revolución del trabajo. Con relación a la primera, que es la que interesa destacar en este estudio, se refiere a la multiplicación exponencial de la productividad laboral originada por la aplicación de motores de vapor, diesel, gasolina, electricidad y reacción en la agricultura, la industria, la minería y el transporte, gracias a la explotación repentina de los combustibles de origen fósil. Indica que la escasez del petróleo obliga a desarrollar otro modo de producción, basado a su vez en un modo de producción de energía descentralizado y más eficaz, el cual debe restaurar configuraciones ecológicas (autorrenovadoras, autodepuradoras, autogeneradoras) y culturales que conduzcan a la aparición de condiciones políticas democráticas y sociedades más conscientes de las alternativas que pueden tomar (Harris [1977] 1987).

Antes de que algunos economistas retomaran la perspectiva de Georgescu-Roegen en la década de 1980, Malcolm Slessor, estudioso de la energía, analizó la relación energía-economía tratando temas como la energía neta, la sustitución de combustibles, la energía requerida para el transporte y la producción de alimentos, la eficiencia energética y la conservación (Slessor 1978).

Desde mediados de la década de 1980, con la caída de los precios del petróleo, la energía deja de considerarse un problema bajo una perspectiva económica, desaparecen también los temores relacionados con la escasez, esto hace que el tema sea analizado por lo general con un interés más académico que político, no se pretende transformar a la sociedad. Sin embargo, a partir de la publicación en 1987 de *Our common future*, reporte de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del

³¹ Propuesta elaborada en la década de 1970 que busca promover y exaltar el autovalimiento del Tercer Mundo en general y de las regiones tropicales en particular.

Desarrollo,³² se analiza con más atención el impacto ambiental de la producción y el consumo de la energía, de hecho la influencia del discurso ambiental hace que la cuestión energética sea vista como un asunto ambiental (cambio climático, contaminación del aire), restando importancia a los propios límites que plantea la producción de energía,³³ señala la necesidad de transitar a fuentes renovables, pero no analiza el problema de la transición teniendo en cuenta la calidad energética de los recursos que reemplazarán paulatinamente a los hidrocarburos ni acude al concepto de energía neta. La sostenibilidad del desarrollo se plantea con base en el impacto ambiental, no en las posibilidades energéticas (WCED 1987).³⁴

Por más de una década el ingeniero Gerarld Foley analizó el problema energético presentando en 1976, 1981 y 1987 tres ediciones de su libro *The energy question*. En la última, preparada ya en un ambiente poscrisis energética, destaca la importancia de la conservación como una medida para evitar efectos negativos en el ambiente y mantener el incremento sostenido de los niveles de vida sin aumentar el consumo de energía. Advierte que para alcanzar este fin y evitar una crisis futura, la cual será más complicada, la sociedad debe reorganizarse. Su llamado no trasciende (Foley 1987).

Adams propone un *modelo del sector energético* para analizar el gasto de energía como una herramienta potencial para la comprensión de la autoorganización de la sociedad, específicamente del Estado-nación. Señala, conservando la perspectiva entrópica que desarrolló en la década de 1970, que la disipación de energía contribuye a la realización de cuatro funciones que toda sociedad viable debe efectuar si pretende sobrevivir: 1) la transformación de formas energéticas no humanas en productos que puedan consumirse, 2) el mantenimiento y la reproducción de seres humanos, su cuidado material, orgánico, mental y psicológico, su regeneración y reproducción, 3) la comunicación, transportación y almacenamiento de formas y procesos energéticos y de información, 4) la regulación de todas las actividades mencionadas. Adams destaca que en las últimas décadas la regulación es la función autoorganizativa que ha registrado, en números relativos, un mayor crecimiento dentro de la demanda de energía (Adams [1988] 2001).

³² La Asamblea General de las Naciones Unidas creó esta Comisión en 1983 con la intención de frenar el deterioro ambiental y la destrucción de la naturaleza a escala global, su misión fue formular una “agenda global para el cambio” para alcanzar el desarrollo sostenible hacia el año 2000 y más allá.

³³ Con relación a la producción petrolera indica, sin profundizar, que ésta se estabilizará en los primeros decenios del siglo XXI para después disminuir gradualmente en un periodo de suministro reducido y precio más elevado.

³⁴ En diversos documentos a lo largo de las décadas de 1990 y 2000, Naciones Unidas señala la importancia de asegurar la oferta energética, los retos que define, teniendo en cuenta las diferencias existentes entre las regiones, son: 1) garantizar el abasto de energía, 2) facilitar a los más pobres el acceso a los servicios energéticos, 3) adoptar tecnologías y estrategias que aumenten la eficiencia y disminuyan el impacto ambiental relacionado con la producción y el consumo de energía. Se confía en el desarrollo tecnológico para incorporar nuevas reservas, incluyendo petróleo no convencional (UN 1992, 1997, 2000, 2001b, 2002, 2005, 2006, 2007; UNDP 2002; UNDP, UNDESA & WEC 2000, 2004).

Eugene Rosa, Gary Machlis & Kenneth Keating, sociólogos, no buscan desarrollar una “gran teoría” sobre la energética, indican, sin embargo, que la energía aporta a la sociología un marco orientador amplio para indagar e investigar sobre las interacciones hombre-ambiente (modos de desarrollo, conservación ambiental, patrones de consumo, percepción de la gente). Indican que el interés social en la cuestión energética responde a procesos cíclicos: para todas las sociedades la crisis energética está terminada, hasta que se presenta la siguiente (Rosa, Machlis & Keating 1988).

Joseph Tainter, al explicar las causas que provocaron el colapso de las sociedades complejas de la antigüedad, concluye que la energía fue un factor fundamental. Indica que las sociedades humanas y las organizaciones políticas, como todos los sistemas vivos, son mantenidas por un flujo continuo de energía, pero los mecanismos mediante los cuales los grupos humanos adquieren y distribuyen recursos básicos son simultáneamente condicionados por e integrados dentro de instituciones sociopolíticas: el flujo de energía y la organización sociopolítica son lados opuestos de una ecuación, ninguno puede existir sin el otro, ninguno puede experimentar un cambio sustancial sin alterar tanto al otro miembro de la ecuación como su balance, por lo que el flujo de energía y la organización sociopolítica deben evolucionar en armonía. En la medida que una sociedad evoluciona hacia una mayor complejidad los costos de sostenimiento impuestos a cada individuo también aumentan, por lo que la población como un todo debe destinar cada vez partes más grandes del presupuesto energético para mantener a las instituciones organizacionales, ya que los sistemas sociopolíticos requieren energía para mantenerse. Tainter apunta que la mejor manera que tienen las sociedades humanas para continuar con su crecimiento socioeconómico, evitando la declinación de su producción, es obtener un nuevo subsidio energético cuando sea evidente que la productividad marginal está comenzando a caer (Tainter 1988).³⁵

Herman Daly es otro economista consciente de los límites que enfrenta la humanidad si se estudia bajo una perspectiva energética.³⁶ Señala que el bajo precio de los recursos naturales durante los primeros 70 años del siglo XX fue un fenómeno único sobre el que se construyó una visión errada del futuro, la fe en la sustituibilidad infinita de los recursos no renovables se funda en la experiencia de un periodo peculiar de la historia en el que la energía era muy barata. Añade que si no hay un avance importante en el campo de la fisión³⁷ o la fusión³⁸ nuclear tendremos que vivir

³⁵ Debe indicarse que desde la antropología ecológica se han estudiado los flujos de materia y energía de sociedades más simples (Rappaport 1967; Thomas 1976), en este trabajo interesa analizar la energética de las sociedades complejas.

³⁶ Es desde la década de 1970 uno de los principales promotores de la economía de estado estacionario o crecimiento cero, la cual busca detener y revertir el deterioro de la biosfera disminuyendo el crecimiento económico, es decir, la producción industrial y el consumo (Daly 1971).

³⁷ División del núcleo de un átomo pesado (uranio) en dos o varios fragmentos, causado por un bombardeo de neutrones, con liberación de una enorme cantidad de energía.

los próximos años en gran medida del flujo corriente de la energía solar, por lo que la tierra será uno de los recursos de acervo que verá incrementar su importancia porque se requiere espacio para captar esta energía, esto afectará indudablemente a la planificación y ocupación del territorio, el gran desafío para los gobiernos será permitir que haya tierra disponible a bajo costo (Daly & Cobb [1989] 1993).

Martínez-Alier, también economista, es uno de los autores que más ha difundido las ideas de Georgescu-Roegen y ha contribuido a dar un marco teórico e histórico a la economía ecológica³⁹ (Martínez-Alier & Schlüpmann 1991; Martínez-Alier 1994, 1998, 2003). En *La economía ecológica como ecología humana* considera irrelevante aplicar la noción de capacidad de carga⁴⁰ a las sociedades humanas o estudiar una unidad territorial específica, ya que el uso exosomático de energía, la tecnología, las migraciones, la definición política de los territorios y el comercio internacional permiten la apropiación de la capacidad de carga de otras regiones (Martínez-Alier 1998). En su rescate de los planteamientos de los energeticistas sociales expone las tesis urbanísticas de Geddes (su visión neotécnica), las cuales identifica como una aproximación al urbanismo ecológico bosquejado en los últimos años (Martínez-Alier & Schlüpmann 1991; Martínez-Alier 1994).

Intentando tender un puente entre el mundo de los procesos productivos de los físicos y los ingenieros y el mundo de las funciones productivas de los economistas, Bernard Beaudreau presenta una teoría de la producción que no se enfoca en el capital y el trabajo, sino en lo que considera los “insumos universales determinantes”: la energía y la organización. Para este economista sólo mediante el desarrollo de nuevas y baratas fuentes de energía inanimada el mundo occidental podrá recuperar las tasas de

³⁸ Unión de varios núcleos atómicos ligeros (hidrógeno), a temperatura muy elevada, con formación de núcleos más pesados y gran desprendimiento de energía.

³⁹ El análisis de la economía desde una perspectiva biofísica ha tomado fuerza desde la década de 1990 (Peet 1992; Ruth 1993; Ayres 1994; Costanza, Segura & Martínez-Alier 1996; Ayres & Ayres 1998, 1999; Gowdy & Mayumi 1999; Cleveland, Stern & Costanza 2001). Ahora bien, Beaudreau explica por qué esta línea de pensamiento al intentar integrar a la energía dentro del cuerpo teórico central de la economía no ha tenido éxito a pesar de que se ha desarrollado por más de 100 años. Explica el nulo tratamiento de la energía en la economía, más allá del manejo estadístico, señalando el origen de la política económica clásica: las obras fundacionales de Adam Smith (1776) y David Ricardo (1817) fueron escritas con un sentido normativo, la ciencia de la riqueza carecía de una tradición positivista, más aún, a finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX se presentó un *shock* tecnológico masivo, inédito además en la historia humana, estos periodos raramente logran explicarse al momento en que acontecen; el enfoque político de la ciencia de la riqueza pasó de Smith y Ricardo a Karl Marx, Alfred Marshall, John Keynes, Hayek, John Galbraith, Milton Friedman, etc., ignorando la importancia de la energía. ¿Por qué —se pregunta Beaudreau— si en las primeras décadas del siglo XX surgieron aproximaciones analíticas de la producción basadas en la energía no fueron incorporadas o tomadas en cuenta? La respuesta, señala, es la naturaleza “radical” de las soluciones propuestas, las cuales son vistas, bajo una perspectiva siempre ideológica, como un ataque a la propiedad privada (política económica neoclásica) o a la distribución (política económica marxista), por lo que es imposible plantear límites, es decir, hablar de la segunda ley de la termodinámica (Beaudreau 1999).

⁴⁰ La capacidad de carga es la población máxima de una especie animal o vegetal que un ecosistema puede sostener a largo plazo (Marten 2001).

crecimiento registradas en las décadas de 1940, 1950 y 1960, antes de la crisis petrolera de 1973. También indica que no es la información la clave para aumentar el empleo, ya que la energía y sólo la energía es productiva en el sentido físico: sólo en la medida que la información, el capital y el trabajo permitan incrementar la eficiencia considerando la segunda ley de la termodinámica serán productivos (Beaudreau 1998, 2005).

Odum en su último libro, titulado *A prosperous way down* (2001), escrito con Elisabeth Odum, plantea que el descenso del crecimiento económico e incluso poblacional, consecuencia del decrecimiento de los suministros, problema que discute en obras anteriores (Odum 1971; Odum & Odum 1981), puede hacerse de manera ordenada, incluso traer beneficios. Dedicó un capítulo para bosquejar la reorganización de las ciudades, la cual debe hacerse con una perspectiva regional incluyendo las ciudades centrales y las poblaciones de los alrededores teniendo en cuenta el impacto ambiental y la evaluación de la energía: se debe facilitar la descentralización ordenada de las ciudades adaptando planes e incentivos para desarrollar pueblos perimetrales —centros secundarios—, para esto debe operar un transporte público que conecte frecuentemente a la ciudad central con los pueblos. La reorganización urbana y la economía en general deben tener en cuenta otro problema planteado por estos autores: las fuentes renovables de energía y las medidas de conservación no tendrán la capacidad cuantitativa y cualitativa para sustituir la estructura y los procesos sostenidos por los combustibles de origen fósil (Odum & Odum 2001). Esto se tratará en el siguiente capítulo.

La socióloga Mercedes Pardo apunta que antropólogos y sociólogos al estudiar las sociedades han observado que los recursos energéticos de una sociedad dada limitan sus características organizativas e incluso sus valores y creencias, de manera que han evolucionado hasta donde sus recursos energéticos les han permitido llegar. Hace una crítica al urbanismo del movimiento moderno y destaca la necesidad de integrar la planificación energética y la planificación urbana, potenciando el transporte público colectivo y peatonal, la reestructuración polinuclear de las actividades dentro de la ciudad y la integración del urbanismo espacial y climático. También subraya la importancia de fortalecer el papel de los municipios en la resolución de los problemas energéticos, especialmente en la formulación y puesta en práctica de programas dirigidos al ahorro y uso racionalizado de la energía. Considera asimismo la necesidad de que se presenten cambios en los estilos de vida, señala que la percepción social del tema de la energía es fundamental en este periodo de transición, por lo que se requiere de una decisiva acción pública en el campo de la información y de la concientización (o concienciación) ciudadana (Pardo 2006).

Estudiar la cuestión energética desde la antropología y la sociología nos permite entender el proceso de evolución, en términos de complejidad y perfeccionamiento, de las sociedades en relación con el consumo de energía, también nos indica cómo se puede intervenir en ellas para modificar el consumo. La ecología y la economía nos

permiten entender el comportamiento de los flujos de energía en los sistemas humanos y los impactos ambientales del consumo, además de señalar sus límites.

Geddes, Harris, Adams, Tainter, Daly, Martínez-Alier, Odum & Odum y Pardo, aportan elementos que deben considerarse en la construcción conceptual de un modelo urbano pospetróleo o tenerse en cuenta para entender los desafíos que presenta la transición energética en general. Esto se tratará en la siguiente subsección.

Energética social y ciudad

Los autores que hemos revisado, con excepción de Geddes y Mumford, no estudian de manera especial a la ciudad, sin embargo, sus reflexiones nos ayudan a plantear los desafíos que debe enfrentar el desarrollo de un urbanismo energético. A continuación se presenta una síntesis de sus recomendaciones:

- buscar la eficiencia energética;
- limitar el crecimiento urbano;
- crear cinturones agrícolas y reservas forestales;
- desarrollar un modo de producción de energía descentralizado y más eficaz;
- desarrollar pueblos perimetrales o centros secundarios conectados a la ciudad central mediante el transporte público;
- integrar el urbanismo espacial y el climático;
- potenciar el transporte público colectivo y peatonal;
- reestructurar las actividades dentro de la ciudad en diferentes núcleos

(Geddes 1915; Harris [1977] 1987; Odum & Odum 2001; Pardo 2006).

Además de estas recomendaciones que tienen que ver con aspectos específicos del modelo urbano pospetróleo, también se toman en cuenta factores que comprenden dimensiones más generales de la transición.

Harris señala la necesidad de restaurar ecosistemas para poder generar un modo de producción no dependiente del petróleo, propuesta que no es lejana a la idea de Sachs de construir una civilización a partir de la bioconversión solar.⁴¹ La restauración ecológica del territorio es una cuestión prioritaria, ya que el encarecimiento del petróleo y su posterior agotamiento cambiarán el actual escenario, correctamente descrito por Martínez-Alier, en donde es irrelevante aplicar la noción de capacidad de carga a las sociedades humanas o estudiar una unidad territorial específica, ya que se puede tomar la capacidad de carga de otras regiones importando materiales y exportando residuos, gracias, le faltó añadir a Martínez-Alier, al bajo costo de la

⁴¹ Esta idea es desarrollada con un sentido más crítico por Enrique Leff, quien plantea una “productividad ecotecnológica” a partir del fenómeno fotosintético, cuyo potencial es mayor precisamente en los países del Tercer Mundo (Leff 1994).

energía. En el futuro la capacidad de carga volverá a ser un factor limitante para el desarrollo local: costará más apropiarse de otras regiones.

Otro aspecto territorial es destacado por Daly: la tierra será uno de los recursos de acervo que verá incrementar su importancia porque se requiere espacio para captar la energía solar. Además de preservar ecosistemas y suelos para actividades agropecuarias, acuícolas y forestales, deberán crearse reservas territoriales siguiendo criterios energéticos para instalar granjas de energía solar y/o eólica en la periferia de las ciudades. Esto será otro factor que determinará la mayor ocupación de la ciudad central. La regulación de los precios de la tierra no debe descuidarse.

Así como se tratan aspectos ecológicos y territoriales también se señalan factores culturales: para Harris es necesario un cambio cultural que conduzca a la aparición de sociedades más conscientes de las alternativas que pueden tomar; Pardo indica que se requiere de una decisiva acción pública en el campo de la información y de la concientización ciudadana para lograr cambios en los estilos de vida. Este problema lo analizo en otro estudio (Páez 2001).

Tainter y Adams exploran la relación entre la energía y la organización social. Tainter indica que la complejidad sociopolítica requiere energía para mantenerse y crecer; Adams destaca que son precisamente las actividades relacionadas con la regulación de la organización social las que más energía han demandado, en términos relativos, en las últimas décadas. El fin del petróleo barato y la transición energética plantean desafíos que no son sólo técnicos. Las alternativas energéticas serán conceptualizadas, diseñadas, gestionadas y construidas por organizaciones concretas dentro de marcos jurídicos concretos, organizaciones que demandarán energía. No sólo deben pensarse ciudades pospetróleo, sino organizaciones sociopolíticas pospetróleo capaces de resolver problemas. Tainter aporta elementos para profundizar en los desafíos que esto significa, sus ideas serán resumidas en el siguiente capítulo.

La revisión de la energética social nos permitió identificar cómo se ha tratado en términos generales el estudio de la relación energía-sociedad. Las recomendaciones de carácter urbano planteadas desde esta perspectiva han sido consideradas en la construcción conceptual del modelo urbano pospetróleo. No deben ignorarse las advertencias y sugerencias formuladas para gestionar de manera integral la transición energética.

■ Eras y transiciones energéticas

Del músculo al petróleo barato

En esta subsección se presentará brevemente la historia energética de la humanidad con base en el libro *Energy in world history* (1994) de Smil. Para comenzar, se debe indicar que este autor señala que es ilusorio establecer divisiones claras dentro de las eras energéticas no sólo por las obvias diferencias nacionales y regionales en el tiempo de innovación y amplia expansión de los nuevos combustibles y motores o generadores de movimiento, sino por la naturaleza evolutiva de las transiciones. Los combustibles o motores ya establecidos pueden ser sorprendentemente persistentes, las nuevas fuentes de energía o las nuevas técnicas llegan a ser dominantes sólo después de largos periodos de difusión gradual. La combinación de accesibilidad y costo explican en buena medida esta inercia, ya que al ser las fuentes establecidas accesibles y provechosas sus sustitutos sólo avanzan lentamente, aunque se presenten con claros atributos de superioridad. Sin embargo, a pesar de esta advertencia, la obra de Smil nos permite trazar el recorrido energético seguido por la humanidad. Los párrafos que se presentan a continuación son una síntesis de su exposición.

La carencia de datos sólo permite presentar una aproximación tosca de los patrones de consumo de energía primaria en el mundo antiguo. Los niveles de consumo de combustibles y los modos prevalecientes de generación de movimiento en las altas culturas de la antigüedad fueron bastante similares, de hecho el dominio de la energía derivada de la biomasa, principalmente la madera, terminó hasta finales del siglo XIX. La sociedad que marcó una diferencia fue la dinastía Han en China (-207 a 220), algunas de sus innovaciones fueron adoptadas en otras regiones después de siglos de su invención, dentro de sus contribuciones más notables se pueden incluir el uso del carbón para fabricar hierro, técnicas de perforación para obtener gas natural, el amplio uso de arados curvos de acero moldeado, la invención de la collera para el arreo y de tubos múltiples utilizados para la siembra. El mundo islámico trajo algunos diseños de sistemas de irrigación y molinos de viento, así como el uso de velas triangulares en los barcos, pero no introdujo innovaciones radicales en el uso de combustibles, la metalurgia o el arreo de animales.

La Europa de la Edad Media, con la influencia de las civilizaciones china, india y musulmana, comenzó a innovar de diferentes maneras, desde el uso de generadores de movimiento hasta nuevas técnicas metalúrgicas. La combinación gradual de rotaciones de cultivos, la mejor alimentación de los animales, el arreo más eficiente y el uso de herraduras aumentó la importancia de la selección de caballos y el perfeccionamiento de la producción laboral, pero lo que realmente colocó a las sociedades medievales europeas más allá de sus ancestros clásicos, fue la extensa confianza en la energía cinética del agua y el viento. Estos flujos fueron captados para diversas aplicaciones por máquinas cada vez más complejas, las cuales suministraron concentraciones de poder sin precedente, de hecho, mucho antes del Renacimiento,

algunas regiones del continente llegaron a depender críticamente del agua y el viento, primero para moler grano, después para abatanar paños y producir hierro, dependencia que también ayudó a mejorar y difundir muchas destrezas mecánicas a través de la civilización occidental.

Durante el final de la Edad Media y el comienzo de los tiempos modernos, Europa fue un lugar de amplia innovación, pero, como se asentó en los reportes de viajeros europeos de esos años, la proeza técnica en China era indudablemente más impresionante. Sin embargo, hacia finales del siglo XV, Europa se embarcó en un camino de acelerada innovación y expansión y la elaborada civilización china estaría por comenzar una larga y profunda involución, no tomó mucho tiempo para que la superioridad técnica de Occidente transformara a las sociedades europeas y extendiera su alcance a otros continentes. Hacia 1700 los niveles típicos de uso de energía, y por lo tanto de afluencia material, eran aún ampliamente similares en China y en Europa occidental, entonces los avances europeos tomaron velocidad, como el incremento del rendimiento de los cultivos, animales más fuertes y mejor arreados, nuevas técnicas metalúrgicas, mejor navegación, nuevos diseños de armas y una agudeza para el comercio y la experimentación. Hacia 1850 estas sociedades pertenecían a dos mundos diferentes. Hacia 1900 fueron separadas por una enorme brecha de funcionamiento: el uso de energía de Europa occidental era al menos cuatro veces el de la media en China.

El periodo de rápidos avances tecnológicos en Europa después de 1700, antecedido por una ideología que favoreció el desarrollo técnico, fue iniciado por individuos innovadores, ingeniosos y prácticos, pero el gran éxito durante el siglo XIX fue guiado por las retroalimentaciones existentes entre el crecimiento del conocimiento científico y el diseño y la comercialización de las nuevas invenciones. En ese siglo, la madera y el carbón de leña fueron reemplazados por el coque y el carbón; los fundamentos de los avances energéticos incluyen el desarrollo de máquinas de vapor, el uso del coque para fundir hierro, la producción en gran escala de acero y la introducción de motores de combustión interna y de generación de electricidad. La velocidad y extensión de estos cambios vino de una original combinación de las innovaciones energéticas con nuevas síntesis químicas y nuevos modos para organizar la producción de las fábricas, también fueron esenciales el agresivo desarrollo de nuevos modos de transporte y telecomunicación, los cuales impulsaron la producción y promovieron el comercio nacional e internacional.

En algunos países los combustibles de origen fósil fueron usados durante siglos, aunque fuera relativamente en pequeñas cantidades, antes del inicio del rápido desplazamiento de la biomasa y el trabajo muscular. El carbón fue por lo general el combustible dominante durante la transición energética en Europa durante los siglos XVIII y XIX. Las transiciones en Rusia, Norteamérica y Japón también comenzaron con carbón, pero, a diferencia de Europa, estos países cambiaron más pronto y rápido al petróleo y al gas natural. Un gran número de países africanos, asiáticos y

latinoamericanos se saltaron la etapa del carbón, aunque tuvieran reservas, y rápidamente llegaron a ser dependientes del petróleo, generalmente importado.⁴²

La máquina de vapor llegó a ser el principal motor durante el siglo XIX, tecnología que favoreció el desarrollo del ferrocarril. Durante la década de 1890 los motores de combustión interna y las turbinas de vapor comenzaron a hacer incursiones comerciales. En la primera mitad del siglo XX los motores de gasolina y diesel dominaron el transporte, mientras que las turbinas de vapor hicieron posible la generación de electricidad a gran escala; el primer reactor nuclear con estos fines comenzó a operar en 1956 (Smil 1994).

En México, el primer tramo ferroviario se inauguró en 1850. En la década de 1890 la electricidad comenzó a extenderse por el territorio nacional. En los últimos años del siglo XIX se introdujeron los primeros automóviles, en 1925 circulaban alrededor de 43,470 vehículos de motor en todo el país (*Enciclopedia de México* 1978).

Tomando información de Paul Bairoch ([1985] 1990), Smil (1994), Ana Prades (1997) y Beaudreau (1998), elaboré la siguiente tabla de las eras o modelos energéticos indicando algunas de sus principales características:

Tabla 1. Eras o modelos energéticos.

Era o modelo energético Año aproximado de inicio y finalización	Características
(Paleoenergética) Preagrícola -2 millones a -9000	<ul style="list-style-type: none"> · Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa · Consumo de energía: limitado · Herramientas de piedra · Caza y recolección · Sociedades simples
(Mesoenergética) Agrícola -9000 a -3000	<ul style="list-style-type: none"> · Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa · Consumo de energía: limitado, pero en aumento · Herramientas de metal (cobre) · Domesticación de animales y selección de plantas · Sociedades simples · Primeras ciudades (preurbanas)
(Mesoenergética) Agrícola avanzado -3000 a 1500	<ul style="list-style-type: none"> · Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa, animales, agua, viento · Consumo de energía: limitado, pero en aumento · Herramientas de metal (bronce, hierro) · Domesticación de animales y selección de plantas, arado, irrigación, fertilización, diversidad de cultivos (intensificación de los rendimientos)

⁴² En los países más pobres el consumo de biomasa aún es fundamental.

	<ul style="list-style-type: none"> · Sociedades complejas (hidráulicas) · Primeras civilizaciones urbanizadas; ciudades pequeñas (algunos grandes centros)
(Mesoenergética) Preindustrial 1500 a 1700	<ul style="list-style-type: none"> · Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa, animales, agua, viento · Consumo de energía: limitado, pero en aumento · Herramientas de metal · Explotación más intensiva de los recursos naturales · Sociedades complejas · Ciudades pequeñas y medias (algunos grandes centros)
(Neoenergética) Industrial 1700 a 1900	<ul style="list-style-type: none"> · Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa, animales, agua, viento, coque, carbón · Consumo de energía: ilimitado · Máquina de vapor · Herramientas y máquinas de metal · Explotación intensiva de los recursos naturales · Fase inicial de la mecanización de la agricultura · Sociedades complejas · Ciudades pequeñas, medias y grandes; crecimiento urbano generalizado en Europa
(Neoenergética) Industrial avanzado (era del petróleo barato) 1900...	<ul style="list-style-type: none"> · Fuente de energía: el cuerpo humano, sol, biomasa, animales, agua, viento, carbón, petróleo, gas natural, nuclear · Consumo de energía: ilimitado · Motores de combustión interna · Electricidad · Herramientas y máquinas de metal · Materiales sintéticos (petroquímica) · Explotación intensiva de los recursos naturales · Mecanización de la agricultura, agroquímicos · Sociedad del consumo y de la información, globalización · Sociedades complejas · Urbanización mundial (hacia 2000 cerca de la mitad de la población vive en ciudades —pequeñas, medias y grandes); zonas metropolitanas <p>→ Crisis del modelo: ecocidio, agotamiento de los hidrocarburos</p>

Las transiciones que aquí interesa destacar son las que condujeron al modelo industrial y al industrial avanzado.

El hecho que marca el inicio del modelo industrial es la extracción difundida del carbón. Si bien fue utilizado durante la antigüedad en China por la dinastía Han y se reporta su extracción en Europa continental desde el siglo XII, fue Inglaterra el primer país en realizar el cambio del uso de la biomasa como combustible al carbón. La transición comenzó durante el siglo XVI después de serios déficits regionales de madera y el consecuente aumento de sus costos junto con los del carbón de leña. Estos déficits empeoraron durante el siglo XVII, la utilización del carbón doméstico

fue la solución obvia para resolver el problema energético. Hacia 1650 su producción anual excedió los 2 millones de toneladas, alcanzando los 3 millones al comenzar el siglo XVIII y más de 10 millones a inicios del siglo XIX.

El aumento del uso del carbón representó muchos problemas técnicos y organizacionales. Una vez que se agotaron los yacimientos superficiales los operadores de las minas desarrollaron pozos más profundos, aunque éstos raramente fueron mayores a 50 metros de profundidad al finalizar el siglo XVII; los más profundos superaron los 100 metros poco después de 1700, los 200 metros hacia 1765 y los 300 metros después de 1830. Ahora bien, al desarrollar pozos más profundos los operadores tenían que bombear la mayor cantidad de agua que encontraban, ventilar las minas y acarrear el carbón desde esas profundidades, además de distribuir el producto entre sus clientes; para enfrentar estas necesidades se utilizaban molinos de viento, ruedas hidráulicas, caballos y mulas. El problema del bombeo del agua fue resuelto a través de máquinas de vapor, las cuales fueron los primeros artefactos en convertir la energía química del carbón en energía mecánica, su evolución comenzó con los modelos construidos por Denis Papin a finales del siglo XVII y poco después por Thomas Savery. En 1712 Thomas Newcomen construyó una máquina para dar poder a las bombas de las minas, la cual, después de 1750, gracias a subsecuentes mejoramientos, comenzó a propagarse en Inglaterra. En 1769 James Watt patentó un nuevo diseño que incrementó notablemente su eficiencia, abriendo el camino de la industrialización. Al comenzar el siglo XIX se desarrollaron modelos aún más eficientes, potentes y versátiles, los cuales se aplicaron para diversos usos en la manufactura, la construcción y el transporte. La minería del carbón y las máquinas de vapor se reforzaron mutuamente. Gran Bretaña fue el centro de esta revolución energética durante todo el siglo XIX (Smil 1994).

El país que tomó el liderazgo en la extracción de carbón en las primeras décadas del siglo XX, Estados Unidos, fue el escenario de la transición que marcó el paso del modelo industrial al industrial avanzado, poco a poco el carbón fue sustituido por otro combustible de origen fósil, el petróleo.

El uso del petróleo como combustible para sustituir el costoso aceite de ballena que se empleaba en los quinqués, fue el estímulo, a mediados del siglo XIX, que dio origen a la industria petrolera, marcando el inicio de la transición del modelo industrial al industrial avanzado. Así como el carbón se usó para dar poder a las máquinas de vapor, el petróleo permitió el mejoramiento de los motores de combustión interna, desarrollo que a su vez aumentó el consumo de petróleo. Los primeros prototipos de los motores de combustión interna se construyeron a mediados del siglo XIX. En 1876 Nikolaus Otto perfeccionó los diseños desarrollando el motor de cuatro tiempos, el cual utilizaba como combustible gas obtenido del carbón. Su comercialización se hizo posible gracias a la invención del motor de gasolina por Gottlieb Daimler en 1883, motor que a su vez permitió a Karl Benz construir el primer automóvil dos años después. En 1892 Rudolf Diesel desarrolló un motor más eficiente, pero más pesado, que puede utilizar combustibles líquidos menos ligeros

(Smil 1994). El uso de vehículos motorizados impulsados por gasolina aumentó dramáticamente la demanda de petróleo a partir de las décadas de 1910 y 1920, sobre todo en Estados Unidos, pero, como señala Joseph Pratt, antes de este fenómeno el petróleo ya había comenzado a invadir varios mercados importantes de combustible tradicionalmente cubiertos por el carbón en ese país.

La transición energética del carbón al petróleo no siguió un patrón de sustitución por escasez, como ocurrió con el paso de la madera al carbón, de hecho el consumo del carbón también aumentó, la transición fue planificada: varias empresas petroleras jóvenes, entre ellas Texaco, Gulf Oil y Standard Oil de California, promocionaron agresivamente el uso de este recurso, el ascenso inicial del petróleo fue un proceso regional, no desafió directamente al “rey carbón” en muchas de sus tradicionales plazas fuertes en los centros industriales del noreste y medio oeste de Estados Unidos, se concretó más completa y velozmente en los principales centros poblados del oeste, suroeste y sur del país (el denominado “Cinturón del Sol”), los cuales habían ido creciendo aun antes del descubrimiento de nuevos e importantes yacimientos petrolíferos en California, Texas, Oklahoma y Louisiana. El petróleo multiplicó su desarrollo al brindar una fuente barata de combustible tanto para los sectores manufactureros como para el transporte, en esas regiones la industrialización había estado frenada por la falta de acceso al carbón.

Ahora bien, las ventajas del uso del combustóleo, la gasolina y otros derivados del petróleo sobre el carbón, poco a poco fueron quedando a la vista: son más fáciles de manejar y por lo tanto su transporte y almacenamiento son menos costosos, su combustión es más limpia y produce menos molestias y su densidad energética⁴³ es 50 por ciento mayor que la del carbón estándar. Los primeros mercados importantes para el petróleo fueron los ferrocarriles y los buques de vapor; el gran ahorro de combustible que registraron también llevó a las industrias de uso intensivo de energía a hacer la conversión. En el Cinturón del Sol las compañías petroleras fortalecieron su posición invirtiendo en oleoductos y buques cisterna para aumentar el transporte del recurso, es precisamente esta región la que marca el camino de la transición, de esta manera, San Francisco, Los Angeles, Houston y Dallas, cuyas poblaciones combinadas sumaron casi 1.4 millones de habitantes en 1920 cuando en 1900 sólo alcanzaban el medio millón, pasaron a depender casi exclusivamente del petróleo para satisfacer sus necesidades crecientes de energía.

La cercanía de los yacimientos carboníferos a algunos ríos o centros industriales y el temor de que escaseara el petróleo le permitió al carbón competir por varios años, pero entre 1900 y 1930 diversas huelgas interrumpieron varias veces su suministro, además continuaba anunciándose el descubrimiento de nuevas reservas de petróleo, esto cambió la percepción de los consumidores. Más aún, un factor determinante en la adopción del combustóleo fueron los bajos precios que ofrecieron sus productores para promover la nueva fuente de energía en diversas industrias, de hecho en algunas

⁴³ Cantidad de energía contenida por unidad de peso, volumen o área.

ocasiones colocaban el energético sin costo alguno, la competencia era feroz entre las petroleras en las ciudades donde ya se comercializaban los derivados del hidrocarburo (Pratt [1981] 1983).

El crecimiento de la industria automotriz y del transporte en general a escala mundial convirtió al petróleo en el principal energético en la década de 1960. El carbón ha mantenido su importancia porque es el principal recurso utilizado para generar electricidad (40 por ciento en 2005) (Smil 1994; IEA 2007a).

Energía y urbanización

La revisión de las transiciones energéticas nos permite ubicar en ese marco el proceso de urbanización, fenómeno que va de la mano del consumo de energía, especialmente combustibles de origen fósil y sobre todo petróleo. Las primeras ciudades surgen durante el modelo agrícola en el Oriente Medio, probablemente entre los años -8000 y -6500, sin embargo, para Bairoch estos asentamientos no forman parte del fenómeno urbano estrictamente hablando, de hecho las denomina *ciudades preurbanas*, ya que su superficie es muy pequeña en comparación con las urbes que se desarrollaron miles de años después. La primera civilización urbanizada fue Sumer, cuyas ciudades-Estado aparecieron entre los años -3500 y -3000 en la baja Mesopotamia (Bairoch [1985] 1990).

Si bien existieron ciudades grandes con una población superior a los 500,000 habitantes en diferentes lugares y épocas,⁴⁴ la *explosión* urbana a escala mundial es un fenómeno que se registró durante el siglo XX.

La relación energía-ciudad, a pesar de su importancia, ha sido tratada marginalmente. Recordemos que Shu-Li Huang & Chia-Wen Chen indican que una teoría integrada de la interdependencia del desarrollo urbano y el flujo energético está por ser establecida. Señalan que mientras la urbanización está bien establecida como un tema de estudio en las ciencias sociales, poniendo el énfasis en aspectos socioeconómicos como la demografía o los cambios en el uso del suelo, sólo recientemente han sido considerados aspectos energéticos e incluso ecológicos (Huang & Chen 2005). En este sentido cabe señalar que destacados estudiosos de la energética como Odum, Césarman y Smil dedican pocas páginas al análisis específico de los sistemas urbanos (Odum & Odum 1981; Césarman 1982; Smil 1994).

Además de Odum y Smil, las observaciones de algunos investigadores de la ciudad permiten hacer un bosquejo de la relación energía-urbanización, tema de estudio que merece sin duda mayor atención analizando casos concretos.

⁴⁴ Por ejemplo, Roma (siglo II), Changan (siglo VIII), Bagdad (siglo X), Constantinopla (siglo XI), Chuanchow (siglo XIII), Vijayanagar y Pekín (siglo XVI). La primera gran urbe fue Babilonia con 300,000 habitantes (siglo -XVII) (Bairoch [1985] 1990).

Indican Huang & Chen que el desarrollo de las áreas urbanas ha seguido un patrón similar en todo el mundo. Los primeros asentamientos humanos fueron pequeñas villas rodeadas por tierras agrícolas. En la medida que la población y el uso de recursos aumentaron, las áreas urbanas se expandieron y las tierras agrícolas fueron convertidas a usos urbanos (Huang & Chen 2005).

Señala Smil que las sociedades solares sólo podían mantener un pequeño número de grandes ciudades debido a las enormes áreas que tenían que cosechar para obtener alimentos y madera, más aún, la ausencia de motores poderosos imponía claros límites a la capacidad de transportar estos recursos y diversos materiales tanto hacia las ciudades como en su interior, ausencia motora que también afectaba el suministro de agua y la disposición de residuos. Las ciudades solares eran mantenidas por la concentración de flujos difusos de energía. Pero esto comenzó a cambiar en el siglo XIX con el consumo del carbón, el cual, como hemos visto, impulsó la industrialización y la mecanización de la agricultura. Rápidamente las ciudades comenzaron a ser abastecidas por la difusión de energías concentradas. En 1800 sólo una de las diez ciudades más grandes del mundo (Londres) estaba localizada en un país dependiente del carbón; un siglo después la relación se había invertido (Smil 1994).

Bairoch explica que la industrialización se desarrolló en sus primeras fases por lo general fuera de los centros urbanos tradicionales y a menudo en un medio prácticamente rural, aprovechando las corrientes de agua y la cercanía a los yacimientos de carbón. La utilización de la máquina de vapor liberó a las fábricas de la dependencia de las corrientes de agua a finales del siglo XVIII en Inglaterra y a partir de la década de 1830 en Europa continental, de esta manera se pudieron ubicar cerca de las viviendas de los trabajadores. Este cambio también fue favorecido por el desarrollo del transporte y la disminución de sus costos, que permitió trasladar productos pesados a largas distancias. Pero el mejoramiento de las condiciones de los transportes también determinó el crecimiento de las ciudades, que a su vez trajo consigo la necesidad de instalar redes de transportes urbanos para la gente, problema que evidentemente no se plantea sino a partir de un determinado tamaño del asentamiento.

Bairoch también destaca que sin la intervención del maquinismo y el empleo de abonos artificiales en la agricultura hubiese sido imposible la explosión urbana. Esta segunda revolución agrícola provocó un nuevo salto de la productividad y de los rendimientos, sobre todo gracias a las cosechadoras y las cosechadoras-trilladoras, que al mecanizar la parte del trabajo agrícola más consumidora de mano de obra permitieron reducir notablemente el tiempo dedicado a esta actividad. De esta manera, la interrelación de la mayor oferta de fuentes de trabajo en los centros urbanos gracias al desarrollo industrial, el crecimiento de la productividad agrícola, las migraciones campo-ciudad y el crecimiento del mercado interior de las ciudades junto con los servicios, determinaron la urbanización, presentando cada país características propias (Bairoch [1985] 1990).

Con los flujos energéticos que generaron el carbón y el petróleo surgió una nueva clase de asentamiento humano, apuntan Odum & Odum. Generalmente estas ciudades tienen una gran concentración de energía por unidad de superficie, con más máquinas, edificios, bienes, desechos, flujos de dinero, automóviles y computadoras. El bajo precio de los combustibles de origen fósil, particularmente el petróleo, permitió que los nuevos sistemas urbanos se impusieran en muchos sentidos a las localidades más pequeñas y sencillas. Más aún, usando carbón y petróleo como recursos para el rápido crecimiento urbano, los países occidentales desarrollaron características que les permitieron imponerse a los sistemas con economías estacionarias.

Las ciudades de Occidente se convirtieron en centros de crecimiento que promovieron actividades que aceleraron a su vez el uso de recursos para el crecimiento. Estos sistemas se especializaron en la utilización de nuevas fuentes y sistemas energéticos, ocupando la electricidad un lugar central. El aprovechamiento de la energía para el transporte, el comercio, el estímulo de organizaciones, la comunicación y la información, etc., fue altamente prioritario. Inversiones, reservas, carga fiscal favorable, entre otros medios económicos, fueron factores que aceleraron este proceso, también impulsado, añaden Odum & Odum, por un factor cultural típicamente occidental: la creencia de que el crecimiento es bueno, de que las actividades de expansión son buenas en sí mismas aunque tuvieran aspectos destructivos, como la contaminación y la pérdida de ecosistemas.

Si bien el crecimiento poblacional y el hacinamiento registrados en las ciudades durante el siglo XIX originó problemas de salud pública, la mayor disponibilidad de energía también hizo posible, ya a mediados del siglo XX, el estudio y la prevención de enfermedades y el control de epidemias. Pero no sólo se presentó una caída en la mortandad, también aumentó el promedio de vida, lo que provocó un mayor crecimiento poblacional en general, reflejándose en un mayor crecimiento urbano (Odum & Odum 1981).

En 1800 sólo había una zona urbana con más de 1 millón de habitantes en el mundo, en 1900 había 11 y en 2000 el número fue superior a 300. Nueve de esas zonas urbanas estaban en México y más de la mitad en África, Asia y América Latina (Bairoch [1985] 1990; Smil 1994; Garza 2003).

Susan Owens indica que la evolución de los patrones de asentamiento y transporte alcanza su punto más alto con la concentración de la mayoría de la población de los países desarrollados en los centros urbano-industriales. Señala que la naturaleza, localización, disponibilidad, precio y distribución de las fuentes de energía, que son determinadas a su vez por los recursos existentes, la geografía, la tecnología y factores sociales, económicos y políticos, influyen en la localización, forma, tamaño, densidad, sistemas de comunicación y mezcla de usos del suelo de la estructura espacial. Añade que los patrones de uso del suelo y el ambiente construido interactúan a su vez con el sistema energético de dos maneras importantes: 1) junto

con el nivel de desarrollo y factores socioeconómicos, determinan la escala y el patrón de la demanda energética (combustibles, calefacción, electricidad, etc.), 2) la estructura espacial determina la disponibilidad de sistemas alternativos para el suministro y la distribución de energía (fuentes renovables, pequeña escala, sistemas descentralizados), los cuales tienen requerimientos particulares en términos de densidad, disposición y orientación (Owens 1986a).

Michael Romanos indica que en una primera etapa, anterior a la II Guerra Mundial, la concentración del empleo causó la búsqueda de espacios centrales y mayores densidades hacia el centro de la ciudad, cuya forma corresponde a una serie de anillos concéntricos. En la segunda etapa, de la II Guerra Mundial al presente, se revierte el patrón anterior, la red de transporte e infraestructura y los bajos costos de los combustibles permiten la relocalización de familias y empresas fuera del centro (en los suburbios), esto causa la dispersión y la formación de núcleos suburbanos secundarios, la forma corresponde a una estrella, cuyos picos son definidos originalmente por las rutas de acceso a la ciudad, en cada pico se localiza un núcleo urbano (Romanos 1978).

En efecto, como explica Wolfgang Sassin, el petróleo, a través del suministro de gasolina, influyó en el proceso de urbanización con el automóvil, ya que incrementó la movilidad personal liberándola de los sistemas de trenes y tranvías y aumentó el tamaño de las zonas urbanas difundiendo el estilo de vida de los suburbios (Sassin 1982).

Huang & Chen indican que la estructura de un sistema urbano y su organización puede ser explicada como el resultado de la fotosíntesis de las plantas y los servicios que sustentan la vida provistos por el ambiente natural, combinados con el consumo de recursos no renovables y la generación de servicios urbanos adicionales. Esta organización estructural culmina en la distribución geográfica de diferentes usos del suelo y la acumulación de activos dentro de esos usos. El dinero circula dentro de los sistemas urbanos como medio de compra de energías no renovables y de cambio de bienes y servicios con sistemas económicos externos. Los sistemas urbanos desarrollan patrones espaciales jerárquicos para organizar geográficamente la economía urbana y su ambiente circundante con el fin de aumentar la productividad.

Señalan como conclusión de su análisis que el proceso de urbanización, en términos energéticos, muestra las siguientes características: a) el uso de combustibles aumenta, b) la diversidad de las fuentes de energía aumenta al principio, pero después, junto con la autosuficiencia, disminuye, c) la relación producción/consumo aumenta y después se estabiliza, d) la estructura urbana, la información y la entropía aumentan, e) las relaciones producción/estructura y energía/dinero, disminuyen, f) la jerarquía energética⁴⁵ aumenta (Huang & Chen 2005). El estudio de estos autores permite

⁴⁵ Medida en términos de energía: densidad de flujo de energía, inversión en energía, huella energética.

afirmar que la urbanización presenta un comportamiento de rendimientos decrecientes.

Virginio Bettini indica que las zonas urbanas se configuran en función de las siguientes características: a) utilizan energía exosomática, b) utilizan la energía de manera creciente con independencia del ritmo de crecimiento demográfico, c) mantienen una relación progresivamente creciente entre energía exosomática y energía somática, d) son cada vez más dependientes del flujo de energía exosomática (Bettini [1996] 1998b).

José Manuel Naredo apunta que la civilización industrial ha acentuado la insostenibilidad de los sistemas urbanos desencadenando tres tendencias que inciden simultáneamente sobre la ordenación del territorio, el urbanismo y la edificación: a) el ordenamiento del territorio en núcleos de atracción de población, capitales y recursos y áreas de apropiación y vertido, b) la conurbación difusa, c) el modelo constructivo de la arquitectura moderna (estilo internacional) que ignora aspectos materiales y climáticos del entorno. Estas tendencias han producido ciudades enormemente costosas de mantener en términos económicos, energéticos y ecológicos, situación, añade Naredo, que no puede superarse sólo con tratamientos técnicos parcelarios, sino que requiere sobre todo de cambios sociales e institucionales (Naredo 2003).

Podemos concluir con Smil que la vida urbana como hoy la conocemos sería inimaginable sin los combustibles de origen fósil y la electricidad (Smil 1994). Ciudades concentradas y dispersas a la vez, recuerda Ramón Martín, construidas desafiadamente por obra de un ingenio civilizatorio, supuestamente respaldado por un flujo incesante y ampliable sin límites, de energía barata (Martín 1981).

Pero Sassin ya señala a finales de la década de 1970, después de estudiar los efectos del *shock* petrolero de 1973, que los modelos urbanos habían ignorado consideraciones energéticas debido, precisamente, a que el bajo costo de la energía no imponía limitaciones físicas o impedimentos sobre las estructuras urbanas. En su análisis pionero este autor plantea uno de los más serios desafíos para la transición urbano-energética: presenta una interrelación entre los patrones de asentamiento y los sistemas energéticos, correspondiendo los patrones distribuidos a los estilos de vida menos intensivos en términos energéticos, los cuales están adaptados a los recursos energéticos locales, que denomina energía *blanda* (madera, viento, energía solar a pequeña escala, poder del agua); mientras que los patrones centralizados corresponden a estilos de vida más intensivos en materia energética, dependientes de energía *dura* (combustibles de origen fósil, nuclear, solar a gran escala). Indica que la urbanización requiere una infraestructura de suministro energético más o menos centralizada, por lo que la densidad de población que caracteriza a las poblaciones urbanas (1000 habitantes o más por kilómetro cuadrado) no puede existir sobre la base de las fuentes locales de energía blanda distribuidas en el territorio (Sassin 1982).

La revisión realizada en esta subsección lleva a plantear una serie de desafíos: 1) el patrón de rendimientos decrecientes que muestra el proceso de urbanización, 2) las complicaciones urbanas que se presentan con el fin del petróleo barato, 3) la imposibilidad de mantener los patrones de asentamiento centralizados con energías renovables. Por su naturaleza podemos decir que la ciudad de los combustibles fósiles es insostenible, el encarecimiento de los energéticos pone en jaque a estos sistemas.

Ahora bien, el bajo precio del petróleo, nos recuerdan Odum & Odum, hizo que las ciudades se impusieran a los asentamientos más pequeños, ¿el fin del petróleo barato y los límites que imponen los rendimientos decrecientes, la entropía y la dependencia de fuentes renovables de energía provocarán una nueva definición de los procesos migratorios y por lo tanto de los patrones urbanos y sus densidades? ¿Será más conveniente vivir en una ciudad pequeña o en el campo o aun en una ciudad grande pero con un estilo de vida radicalmente diferente? ¿Qué transformaciones requerirán las zonas metropolitanas para ser habitables? Se entenderá con más precisión lo que esto implica después de revisar en el siguiente capítulo lo expuesto por Smil, Douglas Reynolds y Tainter.

Plantear los límites de las metrópolis lleva a señalar los límites del proceso de dominación (colonialismo) que el creciente uso de la energía permitió a las naciones de Europa, Estados Unidos y Japón. Se hablará en las próximas décadas, indudablemente, de la geopolítica que definirá la posesión de las reservas de petróleo, gas natural, carbón y uranio. Pero ante la inevitable transición debe considerarse asimismo otro factor: la posesión de las patentes y la capacidad tecnológica relacionada con el aprovechamiento de las fuentes renovables y el ahorro y uso eficiente de la energía (experimentación, desarrollo, difusión, comercialización), junto con la capacidad financiera que permita instrumentar esto.

La transición es inevitable, pero la *utopía solar*, por el actual estado del mundo, es altamente improbable en la mayoría de los países. Utopía solar que no es sinónimo de equidad y liberación.

La gestión urbano-energética en los países del Tercer Mundo —México, obviamente, entre ellos— se enfrenta a su condición de subdesarrollo en muchos sentidos. El diagnóstico que Bairoch hizo al respecto en la década de 1980 aún tiene vigencia. Indica que todo lo que convertía a la ciudad de Occidente del siglo XIX en un factor de desarrollo económico no desempeña el mismo papel en el Tercer Mundo, algo que distinguió a la ciudad industrial en sus inicios fue su influencia significativa sobre las técnicas agrícolas por el desarrollo científico y tecnológico que en ella ocurría, pero que en las ciudades de las ahora llamadas “economías emergentes” se favorece más las importaciones que la producción local y esto tanto para los productos agrícolas como para los manufacturados: la ciudad tercermundista no es agente de innovaciones y difusora de éstas, es importadora, no productora.

Aunado a esto, la superurbanización de muchos centros urbanos se ha convertido en un grave impedimento para el desarrollo, ya que las ventajas económicas que trae un tamaño más grande de ciudad ya han desaparecido, siendo los inconvenientes muy evidentes. Sin duda hay aspectos positivos, pero el desempleo y el subempleo, el comercio informal, las zonas de miseria y de manera especial el crecimiento demasiado grande de las actividades terciarias, hacen que la mayoría de las ciudades africanas, asiáticas, latinoamericanas y caribeñas sean un obstáculo para el desarrollo de sus países (Bairoch [1985] 1990).

Debemos agregar a la lista de problemas que señala Bairoch, específicamente para las ciudades mexicanas, el desgaste de la infraestructura, los efectos del ecocidio, la creciente criminalidad y la corrupción. Este es el escenario en el que deberá concebirse, discutirse, diseñarse, gestionarse, instrumentarse y construirse, la ciudad pospetróleo.