



Energía y sustentabilidad

♦ Rosenberg J. Romero

La sustentabilidad se ha definido recientemente como el equilibrio entre las actividades o procesos multidisciplinares y el entorno.¹ Este concepto es aplicable en varias escalas, desde locales y municipales hasta nacionales y globales. En este sentido, existen diversas aportaciones, desde los sectores privados hasta los oficiales, como las que se presentan en el Plan Nacional de Desarrollo (PND), en las que se considera a la sustentabilidad ambiental como uno de los cinco ejes rectores.²

En ese documento se diagnostican los principales efectos de la actividad productiva, que son considerados a su vez como efectos de las actividades globales y que se pueden identificar como hídricos, forestales, animales, agrícolas y marítimos. Sin embargo, la hipótesis en que se sustenta el PND de que el deterioro se asocia con la falta de oportunidades para sectores locales resulta incompleta para generalizarse a la realidad nacional.

Relación entre energía y gases de combustión

Desde el inicio de la revolución industrial hasta los inicios del siglo XIX no se ha tomado en cuenta el efecto de la conversión de la materia

en energía; no del modo relativista teórico, sino del modo estequiométrico de conversión de los hidrocarburos en energía y vapor de agua. En esta conversión química una molécula (butano, por ejemplo), al oxidarse y aportar energía al entorno, agrega oxígeno a su estructura y se convierte en vapor de agua y gases de combustión, en su mayoría dióxido de carbono (CO₂).

Asociado con esta reacción hay un aporte energético de 2 877 j por cada mol, que en condiciones normales produce emisiones de 22.4 litros por segundo de CO₂ por cada 58 gr de hidrocarburo convertido en cada segundo de combustión. Esto implica que, cotidianamente, se envían a la atmósfera 65 000 toneladas de gases con efecto invernadero a causa de la producción de energía por quema de hidrocarburos.

Transformación de energía en producción

En esta época no se puede pensar en un modo de producción diferente del capitalismo, desafortunadamente. Estamos acostumbrados a buscar condiciones que nos den comodidades aun a costa del impacto de su creación para el entorno. En la actualidad, la producción se asocia no solo con

¹ D. J. Lang, A. Wiek, M. Bergmann, M. Stauffacher, P. Martens, P. Moll, M. Swilling y C. J. Thomas, "Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles and challenges", *Sustainability science*, vol. 7, 2012, pp. 25-43.

² Plan Nacional de Desarrollo, <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/>



materias primas, sino con consumos energéticos que provienen, en algunos casos, de la quema de combustible. Incluso el transporte, ya sea privado o público, casi siempre se basa en dicho sistema (gas, gasolina o diesel), y estas máquinas de combustión tienen eficiencias de conversión inferiores a 30%. En las mejores circunstancias industriales, con quema local en turbinas de gas o de ciclo combinado, se puede considerar una eficiencia no mayor de 35%.

En cualquiera de los casos señalados, basándonos en los principios de la termodinámica, el resto de la energía se pierde como calor no útil en el ambiente. En este sentido, los procesos industriales y el transporte son los principales aportadores de gases de efecto invernadero, seguidos por la construcción y la agricultura; aunque existe ya una cuantificación incluso de las emisiones asociadas con las actividades de producción de alimentos.³ De acuerdo con este incremento en la producción de gases existe una correlación directa entre dicho incremento y la temperatura global.

Energía y desechos

Sin duda, la industrialización y el consumo contemporáneo son causantes del exceso de subproductos asociados con alimentos, como los empaques que tienen vida útil corta. Es decir, los empaques de plásticos en que se envuelven los alimentos (latas, bolsas sellantes, frascos, envases de cartón encerado o impermeable) producen re-

siduos que raramente son reciclados. De acuerdo con un estudio de la Universidad Iberoamericana (UIA), el cual se comparó con estudios similares de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), el 50% de los residuos que produce su población son orgánicos, y si se incluye papel y cartón dicha cifra asciende a 70%.⁴ Esto implica que cerca del 30% (26.23% en este estudio) de los desechos es irrecuperable.

Este escenario tiene implicaciones energéticas. De acuerdo con un estudio del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), en los escenarios actuales los residuos sólidos municipales están en condiciones de convertirse en energía, como ocurre en algunos países en los cuales se puede incinerar entre el 35% (Francia) y 55% (Dinamarca) de sus desechos. Evidentemente, la falta de separación y regulaciones municipales de los residuos representa un problema para la aplicación de este tipo de procesos energéticos en México.

Materia y energía

En el caso de la sustentabilidad, no solo asociada con la industria sino con todos los procesos de conversión de materia en energía, estos conllevan la emisión de gases de efecto invernadero. Por ello, una opción para reducir el efecto de equilibrio que implica la sustentabilidad es el desarrollo de energías alternativas para disminuir el impacto de la emisión de gases y la producción de re-

³ F. Weiss y A. Leip, "Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: a life cycle assessment carried out with the CAPRI model", *Agriculture, ecosystems and environment*, vol. 149, 2012, pp. 124-134.

⁴ M. Ruiz Morales, "Caracterización de residuos sólidos en la UIA", *Revista internacional de contaminación ambiental*, núm. 1, vol. 28, 2012, pp. 93-97.

siduos, así como la *huella* de las actividades que algunos autores definen como antropogénicas y que todos realizamos cotidianamente en el transporte, la alimentación y la producción de bienes de consumo. Estas actividades continuarán al día siguiente y, en consecuencia, se acumularán desechos, compresibles e incompresibles.

Energías alternativas

Una de las alternativas para el modelo de sustentabilidad local es la producción de satisfactores con el menor consumo energético, en lo que podría implicar una disminución de la comodidad, pero no necesariamente la renuncia total a las condiciones mínimas para seguir siendo productivos. En este sentido, hay varias propuestas por parte de los especialistas de las energías renovables para adaptar los espacios, el transporte y los procesos con energías alternas renovables.

Ejemplo de ellas son la adaptación en defecto de la previsión de construcciones con sistemas bioclimáticos o sistemas pasivos. En este sentido, existen diversos temas que merecen atención en estudios de arquitectos y especialistas en urbanismo para la generación de propuestas para construcciones sustentables, basadas en las normas oficiales mexicanas y en experiencias en otras ciudades.

Reutilización de materiales y consumo de agua

Parte del desequilibrio en las actividades humanas se debe a la generación de subproductos;

incluso algunos de estos no se pueden clasificar como “productos de segunda calidad”, sino que se vuelven “desechos”. En las actividades no industrializadas o domésticas también ocurre esta selección. Aquello que se puede reutilizar tiene que adaptarse a las condiciones del proceso siguiente, y en ellas nuevamente se crean desechos. Es decir, sea industrial o doméstico el proceso, es prácticamente imposible utilizar todos los productos.

En muchas ocasiones, la reutilización o el reciclaje implica un trabajo de limpieza, por lo que involucra, además de los agentes limpiadores, un nuevo bien agotable y estratégico: el agua. Hay una comunidad científica especializada en proponer alternativas para la limpieza del agua, desde el concepto básico de filtrado hasta los sistemas de altas presiones en membranas iónicas para efectos de ósmosis inversas, publicados en revistas y otros medios.

En el Laboratorio de Ingeniería Térmica Aplicada (LITA) del Ciicap, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), se han publicado resultados de trabajos de estudiantes, investigadores y colaboradores de otras universidades, para la difusión de las conclusiones encontradas con respecto a los ciclos termodinámicos y el potencial de uso del calor de desecho para purificación de agua. Sin embargo, los mayores efectos se asocian con el uso doméstico de agua, ya que solo es tratado el 29.7% de la que se capta en alcantarillas, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CNA).⁵

⁵ Estadísticas del agua en México, edición 2011, Conagua, Semarnat, 2011.



Consecuencias locales

Otra parte del desequilibrio debido a las actividades humanas está asociado con el sector de la construcción y no solo con la producción de CO₂ en las fábricas de materiales de construcción, en las que se incluyen procesos térmicos con quema de combustibles fósiles. Una parte se debe a la disminución de áreas de captación de lluvias. El asfaltado y el incremento de la mancha urbana disminuyen la zona de vegetación y aumentan la temperatura local, ya que los materiales de construcción como aquel presentan valores mayores de capacidad calorífica comparada con el suelo natural (tierra), 0.92 y 0.80 kJ/kgK, respectivamente.

Este efecto produce en las construcciones con muros y techos expuestos a la radiación solar un incremento de temperatura, por lo que se ha adoptado por comodidad el aire acondicionado, el cual, independientemente del fluido refrigerante que use (amigable con el ambiente o no), se asocia con el consumo de energía. También en el LITA se han investigado los ciclos termodinámicos para el uso de sistemas de refrigeración asociados con colectores solares para evitar el consumo de energía eléctrica, que en un porcentaje alto (40%) proviene de la quema de combustibles fósiles.⁶

La mayor parte de la energía solar incrementa la temperatura de las regiones soleadas de acuerdo con las propiedades del suelo o de las superfi-

cies donde incida. De esta forma, se puede tener, para superficies reflejantes (blancas), temperaturas superficiales de 30.4° C, y en superficies oscuras (laca negra), temperaturas de 64.8° C. Por lo anterior, el retiro de calor en los edificios soleados (considerando 700 W/m²) en gran parte de México requerirá de equipos de aire acondicionado.

En este sentido, se han propuesto diversas configuraciones para ciclos termodinámicos que puedan aprovechar esa energía calórica y convertirla en un incremento de presión que permita obtener enfriamiento por expansión de un líquido. El líquido adecuado para ello puede ser amoníaco o agua. En el LITA y en el Centro de Investigación en Energía (CIE) de la UNAM, donde también se han realizado investigaciones de este tipo, se ha utilizado agua como fluido de trabajo seguro para este propósito, con lo cual se han hecho aportaciones teóricas y experimentales al conocimiento.⁷

Por último, viendo hacia el futuro un incremento de población y de la demanda energética, el equilibrio entre el entorno y las actividades debe tratar de mantenerse con baja producción de desechos. No hay soluciones sencillas ni atajos para resolver dichos problemas: debemos reducir el consumo de satisfactores para disminuir así el consumo energético, ya que ambos afectan la sustentabilidad.

⁶ Balance nacional de energía, México, 2010, Sener, México DF, 2011.

⁷ Entre otras, Rosenberg J. Romero, Sotsil Silva-Sotelo y Roberto Best y Brown, *Mathematical model for plate heat exchangers for steam generation in absorption systems*, Nova Science Publisher, Nueva York, 2011; R. J. Romero, L. Guillén e I. Pilatowsky, "Monomethylamine-water vapour absorption refrigeration system", *Applied thermal engineering*, vol. 25, 2005, pp. 867-876; I. Pilatowsky, W. Rivera y R. J. Romero, "Performance evaluation of a monomethylamine-water solar absorption refrigeration system for milk cooling purposes", *Applied thermal engineering*, vol. 24, 2004, pp. 1103-1115, y W. Rivera, H. Martínez, J. Cerezo, R. J. Romero y M. J. Cardoso, "Exergy analysis of an experimental single-stage heat transformer operating with single water/lithium bromide and using additives (1-octanol and 2-ethyl-1-hexanol)", *Applied thermal engineering*, vol. 31, 2011, pp. 3526-3532.