



## BASURA Y ENTROPÍA

Fritz Räuchle

*Instituto de Corrosión y Protección (ICP-PUCP)*

### INTRODUCCIÓN

El creciente interés de las autoridades municipales en el problema de la basura (recolección y deposición final) se debe aprovechar para alcanzar un máximo provecho de estos materiales como materia prima mediante reciclaje o como mínimo el llamado uso térmico para “generar” energía eléctrica.

En este artículo queremos exponer similitudes entre el concepto de entropía y basura, que para muchos será un aspecto novedoso aunque esta idea de vincular un concepto químico académico (la entropía) con un factor económico (valor de los desechos) ya existe más de diez años [1].

Sabemos que temas ambientales son temas muy complejos (allí radica una buena parte de la dificultad de resolverlos satisfactoriamente) porque abarcan aspectos multifacéticos y por eso la solución sólo sale de un esfuerzo multidisciplinario con los roces inherentes.

El tema basura no es la excepción de la regla.

Todo el mundo tiene una acepción propia de la palabra basura.

*Notas*

Es difícil encontrar una definición porque lo que para unos son desechos para otros es materia prima y la fuente de vivir.

Este simple hecho nos vincula la basura con la economía. Damos un ejemplo que nos aclara la proximidad entre basura y materia prima, considerando dos situaciones muy simples.

- 1) la existencia de 10 kg de sulfato de níquel, de 10 L de ácido sulfúrico concentrado y de 100 m<sup>3</sup> de agua destilada, por separado, se puede traducir fácilmente en valores pecuniarios y por eso todo el mundo considera los tres materiales, por separado, como materias primas.
- 2) la existencia de una solución acuosa ácida de sulfato de níquel, residuo de un baño electrolítico de niquelación es un problema, porque su eliminación causa gastos económicos o daños al medio ambiente (en el caso de un tratamiento no adecuado, por decir lo menos); este tipo de desechos es muy frecuente en la industria química o en la minería y su eliminación ya no es posible mediante "dilución" en el mar, lo que ha sido realizado por los países industrializados durante muchos años.

Como hemos visto, la ambigüedad entre desecho y materia prima puede ser grande, lo que condiciona que la transición entre los dos pueda ser fluida.

## ASPECTOS ECONÓMICOS

Podemos señalar que el valor económico de un material contaminado  $Mat_{com}$  está relacionado directamente con el valor del(os) material(es) comercialmente puro(s)  $Mat_1, Mat_2, Mat_3$ . En nuestro ejemplo, si el valor sumatorio del sulfato de níquel, del ácido sulfúrico y del agua destilada es menor que el valor del  $Mat_{com}$  más el costo de recuperación, entonces el material es basura.

Al mejorar el proceso de recuperación, lo que se traduce en costos menores, una basura se puede convertir rápidamente en materia prima. Este cambio de clasificación, por cierto muy positivo para el medio ambiente, de desecho a materia prima, se observó con los restos de sales potásicas, llamadas sales de escombreras, en Alsacia (Francia) y en la

ganga de minerales cupríferos, el Perú (Arequipa), mediante procesos refinados de lixiviación bacteriana que convirtieron estos restos en materia prima y consecuentemente en una fuente de dinero.

Con estos ejemplos se ha intentado explicar que las nociones de basura y materia prima no son absolutas sino dependientes de dos factores determinantes:

- \* valor de los componentes recuperado;
- \* eficiencia (tecnología, costos) del proceso de recuperación.

Si  $n$  es el número de moles dentro del desecho y  $p$  el precio por mol en el mercado del país, el valor teórico de la basura es:

$$V_{\text{bas}} = \sum_i n \cdot p \quad (1)$$

Si el producto recuperado, por ejemplo el agua no tuviera valor (valor despreciable) entonces se devuelve el agua al proceso natural o sea, se la introduce al próximo río. Hablamos entonces en vez de recuperación sólo de una depuración.

Algo semejante ocurriría con un compuesto volátil, por ejemplo, un aire filtrado de sus componentes nocivos.

Los costos de separación de la mezcla de desechos (sea sólido, líquido o gas) en sus constituyentes son:  $C_{\text{bas}}$ .

Entonces el valor real de la basura o sea la ganancia neta, que puede dar el proceso, es:

$$G = V_{\text{bas}} - C_{\text{bas}} \quad (2)$$

Si el valor de la mezcla  $V_{\text{bas}}$  es menor que los costes de recuperación entonces  $G$ , el valor real, es negativo y la mezcla es realmente desecho y, como basura, irrecuperable, desde el punto de vista económico

$G < 0$ , equivale a basura

Mientras con  $V_{\text{bas}}$  mayor que  $C_{\text{bas}}$  obtenemos un  $G$  positivo y la mezcla es clasificada materia prima.

$G > 0$ , equivale a materia prima

La ganancia, un valor netamente económico, define el destino del material recolectado.

## ASPECTO TERMODINÁMICO O ENTROPÍA

La basura, como la conocemos habitualmente, es una mezcla de un componente o componentes en una matriz que representa la suma de los demás. El grado de dispersión puede ser decisivo para estimar o calcular los costos del proceso de recuperación. Cuanto más disperso tanto más costos causará la separación.

Este grado de dispersión es justamente lo que considera el concepto de la entropía.

La entropía es una magnitud que define el desorden de un sistema. Aumenta con el grado de desorden o disminuye con el grado de orden.

En Ciencias Naturales aprendemos que un proceso es espontáneo, cuando es acompañado por una disminución de la entalpía ( $\Delta H$  negativo) y aumento de entropía ( $\Delta S$  positivo). Un factor esencial adicional es la temperatura.

Depende la temperatura si, por ejemplo, una evaporación o su respectiva condensación es espontánea. Depende si el valor  $\Delta H$  "gana" para determinar en qué dirección va un proceso, cuando las dos magnitudes son antagónicas. Es por eso que conocemos la famosa ecuación:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (3)$$

A partir de una cierta temperatura siempre "ganará" el miembro  $T\Delta S$ .

## ECONOMÍA Y ENTROPÍA O COSTO VERSUS DESORDEN

Ya afirmamos que el costo de recuperación de los contribuyentes de basura  $C_{\text{bas}}$  dependerá del grado de dispersión, o sea, de la entropía de la mezcla.

Cuando más dispersión encontramos en una mezcla más costosa es la recuperación del producto puro porque más volumen tenemos que manejar.

El valor de la basura  $V_{\text{bas}}$  y la ganancia  $G$  están relacionado termodinámicamente de la siguiente manera:

$V_{\text{bas}}$  es el valor máximo obtenible porque cuando la “mezcla” está constituida de los tres componentes separados y puros se puede vender la “mezcla” directamente por el precio de mercado o sea, los tres constituyentes están formando una unidad comercial pero no mezclados físicamente.

En el caso de una mezcla real,  $G$  siempre será menor por los costos de separación.

Podemos deducir:

Un proceso que realice el tratamiento de una basura compleja (de alta entropía) a bajo costo  $C_{\text{bas}}$  es un proceso de alta eficiencia.

Un proceso de alta eficiencia significa -en la termodinámica de un químico- un proceso a temperatura baja, un proceso “frío”, (para no tener que invertir energía inicial que se pierde en forma fraccional después, al enfriar los productos obtenidos).

De esta forma nos damos cuenta de que la ecuación (3) con el producto  $T\Delta S$  es indudablemente aplicable a nuestra idea de enlazar el concepto basura con entropía.

No queremos forzar las similitudes introduciendo una llamada “ecotemperatura” como lo hizo A. Ginebra [2].

## RESUMEN

Con esta pequeña contribución se desea resaltar que el concepto de la entropía (introducido por R. Clausius en 1854 en la termodinámica) tiene una aplicación directa y así como la que se ha expuesto aquí, existen otras en biología e informática.

Como el cambio de entropía,  $\Delta S$ , en un proceso reversible, después de haberlo realizado, es cero.

Es justamente el concepto que queremos implementar en un desarrollo sostenido que en todos los procesos sean metalúrgicos, químicos o biológicos, el  $\Delta S$  sea cero. No referimos a la entropía de los desechos.

Admisible desde el punto de vista ecológico riguroso (y la humanidad se acerca a un punto de rigidez tarde o temprano) **sólo** es admisible la degradación de la energía invertida (y nunca la dispersión de materia prima) que es una irreversibilidad termodinámica impuesta por la imposibilidad práctica del circuito de Carnot.

Cuando hayamos llegado al grado de perfección de la utilización de la energía solar directa (energía voltaica con sus subcampos eólica, y del movimiento de olas marinas) y no utilizamos más la energía solar indirecta (carbón, petróleo y gas natural, leña) entonces realmente entramos en el camino del anhelado desarrollo sostenible, porque recién en este estado de desarrollo sólo degradamos energía solar.

Los materiales que ahora utilizamos como fuente de energía deben ser materias primas con un reciclaje perfecto y no una fuente de problemas, por ejemplo, por el calentamiento de la tierra por el dióxido de carbono resultante.

## AGRADECIMIENTO

El autor quiere expresar su más sentida gratitud al Ing. D. Ugaz de la Sección Química de la PUCP por las discusiones del tema y su ayuda en la redacción lingüística.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Hauserman W. B., *J. Chem. Education* (1988), **65**, 1045-1047.
- 2) Ginebra A., *J. Chem. Education* (1996), **73**, 708-710.