

EL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA INGENIERIA

Roberto Echarte

INTRODUCCION

Pocos temas se señalan tan preocupantes para el futuro de la Humanidad como la preservación del medio ambiente con el objeto de asegurar la vida en el planeta.

Ciertamente que en el Génesis el hombre recibió el mandato divino "Sean fecundos, multiplíquense, llenen la tierra y sométanla; dominen a los peces del mar, a las aves del cielo y a todos los vivientes que se mueven sobre la tierra".

El pecado original destruyó la armonía existente en la creación y, como señaló el Papa Juan Pablo II en su mensaje del 8 de diciembre de 1989: "El hombre, cuando se aleja del designio de Dios creador, provoca un desorden que repercute inevitablemente en el resto de la creación. Si el hombre no está en paz con Dios la tierra misma tampoco está en paz:

"Por eso está de duelo".

"Y se marchita cuanto en ella habita".

"Con las bestias del campo",

"y las aves del cielo,"

"y hasta los peces del mar desaparecen".

OSEAS 4,3.

La experiencia de este 'sufrimiento' de la tierra es común, también, a aquéllos que no comparten nuestra fe en Dios.

La desordenada acción humana y el poco conocimiento de la naturaleza fueron causa y a la vez consecuencia del uso de los recursos que ella ofrecía. Por eso, lo que parecía una fuente inagotable de provisión de medios para cimentar las creaciones del ingenio humano, de repente comenzó a dar señales que obligaron a reflexionar. Se hizo carne el concepto de *finitud* del capital que supone el planeta tierra y, con la misma ligereza con que se derrochaba y se derrocha aún, se pretende congelar tal proceder estableciendo

12 - INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE

un "Statu quo". Tanto la actitud anterior como la postura actual no son decisiones gratuitas. En consecuencia, aparecen costos. Quién paga esos costos y cómo se distribuyen en la sociedad mundial constituye el gran interrogante. Como puede seguirse, éste es el fondo del problema y, dada su magnitud, no es aceptable que sea reducido al tratamiento de los especialistas.

Por ser la actividad ingenieril el vehículo que la humanidad encontró, a través de los inventos y procesos tecnológicos, para dar rienda suelta a la satisfacción de sus necesidades, analizaremos algunos aspectos de la interacción Ecología-Ingeniería.

OBSEEVACIONES

El desarrollo del conocimiento y la presencia de hechos degradantes de la naturaleza orientaron al hombre a pensar en la necesidad de preservar la vida en el planeta.

La observación, el estudio, la medición y la información acumulados permiten extraer conclusiones. Los ingenieros necesitan todo lo anterior para elaborar soluciones alternativas.

Por ejemplo, **la vida en las ciudades** impone analizar y resolver problemas. El transporte, tanto de personas como de productos necesarios, la distribución de los sectores de actividad, el agrupamiento y la calidad de las viviendas, los espacios verdes requeridos, las obras de saneamiento, son algunos de los problemas que condicionan la **calidad de vida** urbana. Dada la tendencia a una mayor concentración de la población en centros urbanos, hay que prever las consecuencias.

Por otra parte, las necesidades humanas suelen requerir la producción de **acero, cemento, papel, alimentos, etc.**, y a su vez dichos productos deben ser transportados a distintos lugares. Las industrias antedichas necesitan **energía eléctrica** y para ello generalmente hace falta energía térmica. Esta se produce comúnmente mediante el uso de combustibles que son derivados de hidrocarburos. Cualquiera sea la fuente de calor, (la caldera o los motores de combustión interna) los productos de la combustión se eliminan en la atmósfera. El contenido de esos productos de combustión es variable, pero en todos aparece alto porcentaje de agua, dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, bióxidos de azufre y de plomo.

Para producir **una unidad de energía eléctrica** se necesitan **tres unidades de energía térmica**. Este hecho obliga a disipar en la atmósfera el importante sobrante de energía. Es decir, hay una fuerte **emisión de calor**, lo cual es otra forma de agresión del ambiente por aumento de temperatura.

En el caso de las centrales nucleares, éstas necesitan disipar entre un 25 y un 30% más de calor que las centrales térmicas convencionales de igual potencia. Ello obliga a ubicarlas en la vecindad de lagos y ríos importantes a efectos de contar con abundante agua para refrigeración.

Esta agua es posteriormente devuelta a la fuente de la cual se extrajo. La temperatura del agua restituida es mayor. Esto puede afectar la vida de los peces que vivan en los lugares de reingreso del agua a su cauce de origen, y un hecho como éste debe ser estudiado y ofrecer soluciones.

La producción de ruidos, tanto en las ciudades como en los aeropuertos y en las industrias, ha sido estudiada en forma sistemática dado el grado de molestia o incomodidad provocado a las personas. Hoy sabemos que deben prever estructuras amortiguantes cuando el ruido supera los 140 d.B.A. en las proximidades de la fuente de emisión, y los 120 d.B.A. a 60 metros de distancia y los 100 d.B.A. a 600 metros.

La aviación moderna, con sus aparatos de alta velocidad e incluso ultrasónicos, produce una fuerte migración de aves vecinas a las rutas aéreas hacia zonas más silenciosas.

Otro de los problemas que deben resolver las comunidades humanas es la eliminación de las aguas residuales y servidas. Estas suelen arrojarse a ríos y arroyos, y en algunas épocas del año sus caudales superan a los de la corriente natural. Los principales contaminantes pueden ser ácidos y álcalis, aniones (sulfuros, sulfitos, cianuros), detergentes, cloro, plomo, desechos orgánicos tóxicos (formaldehidos, fenoles), pesticidas, sustancias radioactivas, etc.

Hay otros hechos degradantes que omitimos por superabundantes.

CONSECUENCIAS

Los gases de combustión de los motores contienen agua y óxidos de nitrógeno. El agua no parece tener gran influencia sobre el balance atmosférico. En cambio el *óxido de nitrógeno destruye el ozono* en reacciones cíclicas en las que aquél actúa como catalizador.

La **capa de ozono** ubicada en la tropopausa, delgada zona de separación entre la tropósfera y la estratósfera, protege de las radiaciones solares de menor longitud de onda (rayos ultravioletas) que son dañinas para la salud humana. A su vez, dicha capa permite en cambio el paso de aquellas radiaciones de mayor longitud de onda que constituyen la franja inocua del espectro y calientan la atmósfera.

El espesor de la tropósfera no es uniforme. Oscila desde 8 km. en los polos, hasta 17,6 km. en el ecuador.

14 - INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE

Como consecuencia de la actividad humana se genera ozono en capas superiores. Es decir que, aunque en el balance total la cantidad de ozono quedase inalterada, cambiarían las funciones que tiene asignadas este gas en el ciclo energético y como protector de las radiaciones nocivas. La importancia de estas alteraciones la están discutiendo los especialistas, pero lo cierto es que las inquietudes parecen razonables.

Se ha dicho antes que uno de los subproductos de la combustión lo constituye el **dióxido de carbono**. Su aumento en las mediciones atmosféricas está vinculado al denominado **efecto invernadero**. En efecto, este gas permite que lleguen a la corteza terrestre las radiaciones del espectro de onda visible. Al producirse el fenómeno de reflexión de las ondas, el dióxido de carbono absorbe la emisión de la banda de infrarrojos con lo cual se produce el calentamiento del aire, como sucede en los invernaderos.

Los procedimientos de eliminación de aguas residuales pueden contaminar fuentes de agua potable y ensuciar el hábitat de los peces en lagos y ríos, con lo cual se produce un fenómeno de deterioro acelerado de elementos imprescindibles para la vida.

Como podemos observar, sin haberlo buscado:

- a) se ha alterado la capa de ozono, desarrollando el efecto invernadero;
- b) se ha perturbado mediante fuertes ruidos la estabilidad de ecosistemas;
- c) se han contaminado las fuentes de provisión de agua;
- d) se ha roto el equilibrio vital de los ríos.

Podríamos agregar que:

- e) se han eliminado bosques en busca de productos industrializables;
- f) se han erosionado tierras fértiles, lo que ha provocado inundaciones de zonas históricas, como se hizo con la presa de Asuán en Egipto;
- g) se han destruido bellezas naturales a causa de inundaciones, como los saltos del Guairá con el embalse de Itaipú, etc.

REFLEXIONES

Lo relatado a modo de breve síntesis señala algunos problemas detectados, sus aparentes orígenes y eventuales consecuencias. Sin embargo, deberíamos empezar por reconocer las limitaciones con que nos encontramos a la hora de analizar datos de las mediciones y registros que se llevan.

Es posible seguir haciendo mediciones, perfeccionar la información, etc. Lo que no es tan fácil es establecer **cuál es el punto de referencia inicial**. Tampoco puede afirmarse que si el hombre no alterase el medio ambiente, éste se mantendría invariable. En efecto, la Tierra está en permanente cambio. Se pueden seguir estudiando muchos más problemas que hasta el momento no se han investigado. En resumen, hay mucho para hacer; el problema consiste en saber lo que hay que hacer.

El aumento de la población, si bien geográficamente desparejo, requerirá satisfacer sus necesidades crecientes. En consecuencia, la ingeniería se movilizará. Pero, por más que se haya tomado conciencia de este problema, sería utópico pretender paralizar toda la actividad humana hasta que se encuentren las soluciones.

Por ejemplo, el consumo de energía eléctrica ha crecido en forma desmesurada en algunos países desarrollados, mientras que en la mayoría de los del Tercer Mundo apenas ha variado.

En los países más evolucionados, en 1984, el consumo energético por habitante fue:

1740	KWh/habitante	en Portugal
2675	KWh/hab.	en España
9800	KWh/hab.	en EEUU
13920	KWh/hab.	en Canadá

En el mismo año la **producción mundial de energía** fue de 7.232 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP) y el consumo de 7.268 millones de TEP.

La producción de petróleo superó los 2.800 millones de toneladas y la de gas los 1500 millones de TEP. A su vez la producción del carbón, que viene creciendo a medida que se encarecen las otras alternativas, superó los 7.250 millones de TEP.

Por su parte, la producción de energía hidroeléctrica es aproximadamente de 460 millones de TEP y la de energía nuclear de 272 millones de TEP.

Estos datos significan que seguirán emitiéndose a la atmósfera partículas sólidas, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, etc.; que se seguirá calentando la atmósfera; que seguirán produciéndose residuos como consecuencia de la actividad humana, en particular en los países más evolucionados, donde los niveles de confort exigen que continúe el deterioro.

¿Cómo se frena un vehículo lanzado a toda velocidad en una dirección para evitar el colapso? Desde el punto de vista de la Física hay soluciones y se pueden establecer las fórmulas, el tiempo que demandará, las

fuerzas reactivas necesarias. Pero el problema es que el vehículo está tripulado por un hombre, que fue responsable del peligro generado y cuya vida debemos salvar.

La cuestión así planteada pretende llamar la atención sobre la enorme tarea a realizar, sobre todo si tenemos en cuenta algunos otros factores, como ser:

- a) En los **países en desarrollo**, la producción de energía deberá **multiplicarse por cinco** para que esos países alcancen el nivel de vida de los países centrales. Si esa meta se desea conseguir mediante combustibles fósiles y quemando bosques, el perjuicio será muy importante y la vida, quizá, insostenible.
- b) La visión que exportan los países más desarrollados sobre las bondades de sus organizaciones políticas, la maravilla de los productos cuyo consumo quieren difundir y la panacea de sus hábitos de vida producen en los habitantes de las naciones menos desarrolladas la tremenda ansiedad por "comprar" esas imágenes.
- c) A los **países centrales** resultará muy difícil hacerles reflexionar sobre la **responsabilidad** que tienen en frenar el deterioro que ellos han generado; y a su vez colaborar para que aquellas regiones que desean **mejorar** su calidad de vida puedan lograrlo razonablemente.

RESPUESTAS

¿Es posible establecer modelos de desarrollo que no provoquen el daño en la naturaleza que distintas voces han señalado? La respuesta es afirmativa, aunque pueda parecer voluntarista. Hay algunos ejemplos, muy poco significativos cuantitativamente, pero cualitativamente importantes.

En primer lugar, resulta obvio que no toda utilización o transformación de la naturaleza provoca un daño ambiental. Hay obras que producen **impacto cero** sobre el medio que las rodea.

Además, existen obras que producen **pequeño impacto** y otras de **gran impacto**. Estas clasificaciones pueden ser falibles, pues están afectadas por las evaluaciones que se hagan y en qué tiempo se espera respuesta.

Pongamos un ejemplo: la presa de Asuán en Egipto fue pensada como una solución para disminuir el gran desierto de la zona cercana al Nilo mediante el riego y, al mismo tiempo, para generar energía hidroeléctrica. La

construcción de la obra fue muy cuestionada por razones de política internacional en la época de la guerra fría. El embalse tardó once años en llenarse. En ese tiempo, obviamente, se alteró todo el ecosistema. Se ha formado un lago de más de 500 km de largo, con una superficie de 5.120 km², con un volumen total de 157 km³.

Como el ecosistema anterior del valle del Nilo se aprovechó durante más de 5000 años, suena a crimen su destrucción. ¿Pueden compararse observaciones de miles de años con las de 20 años transcurridos desde el llenado del embalse?.

Es posible que tengan razón los ecologistas que hoy critican lo hecho. También es factible que el nuevo ecosistema que se está formando produzca beneficios mayores que la destrucción que provocó. Si esos beneficios tardan más en apreciarse que lo que dura la vida del hombre contemporáneo, no nos satisfarán los resultados.

Dicho lo anterior, deberíamos decir que por **pequeño impacto** entendemos aquellos perjuicios limitados a la zona de la obra y su entorno, y que pueden ser superados en relativamente poco tiempo.

Por **gran impacto** entendemos aquél que daña el ecosistema de manera sensible, que consecuentemente afecta la vida humana y cuyos efectos no se sabe cómo superarlos. Por ello han intentado métodos para cuantificar el impacto ambiental que pueda producir un proyecto, antes de su concreción.

Uno de ellos es el Método Leopold elaborado por el Servicio Geológico de los EEUU. El método consiste en elaborar una **matriz causa-efecto**. En dicha matriz figuran cien acciones en horizontal y ochenta y ocho efectos en vertical, con lo cual resultan 8800 casillas con todas las posibles interacciones entre causa y efecto. En concreto, se trata de una manera de identificación de los varios impactos de toda esta desagregación de datos. La experiencia parece señalar que en cada matriz importa más un número que otro de casilleros de entre 50 y 100. La elección de éstos tiene una gran subjetividad, por lo que aquélla debe ser evaluada por equipos multidisciplinarios de alta jerarquía.

Otro método muy conocido es el **Battelle** elaborado a pedido del **Bureau of Reclamation** de los EEUU para poder evaluar el impacto en el aprovechamiento de los recursos hídricos. Este método utiliza **78 parámetros ambientales**.

Para cada uno de ellos se establecen unidades, obviamente deben ser comparables entre sí, que se obtienen de mediciones reales. Cada uno de los parámetros debe ser previamente ponderado respecto del conjunto. Cada uno de los datos debe ser evaluado antes de la obra, y cuando ésta se halle en explotación. De esta manera se tendrá un valor neto del cambio provocado.

Este criterio también permitirá visualizar si hay algún motivo de alarma por la dispersión entre los datos obtenidos y los calculados previamente.

Existen otros diferentes **métodos** como los **cartográficos**, que son de aplicación para estudiar los fenómenos perturbadores del ecosistema, cuando se trata de estudiar una vía férrea, un camino, una línea de transmisión eléctrica, autopistas o las transformaciones forestales.

En el estado actual del conocimiento, el procesamiento que debería seguirse al proyectar toda obra de ingeniería de importancia debería ser:

1. Definición del proyecto y el método constructivo a utilizar.
2. Identificación y evaluación del impacto sobre el medio ambiente.
3. Estudio de las distintas soluciones para reducir los aspectos negativos del impacto.
4. Reforma del proyecto o del proceso constructivo en función de las conclusiones del punto 3.
5. Seguimiento permanente de los datos del impacto real producido por la obra en explotación. Esto permitirá ver si las hipótesis fueron correctas o definir las medidas complementarias.
6. Trasmisión de los datos obtenidos y las conclusiones que permitan aprovechar las experiencias reales.

DESARROLLO SOSTENIBLE

Parece razonable que haya consenso en buscar fórmulas que permitan al hombre aprovechar los recursos naturales sin desvastarlos o anularlos.

Esta necesidad de actuar con sensatez ha conducido a la búsqueda de un **modelo de desarrollo económico y social**, que permita mejorar la calidad de la vida humana sin destruir o impactar el ecosistema. A este intento, por demás interesante, se lo denomina **desarrollo sostenible**.

Los especialistas en ingeniería, en protección del ambiente y en gestión ecológica están trabajando en ello. Pero esto no alcanza porque afecta a la sociedad en su conjunto y en especial a las posibilidades o no de la supervivencia humana en la tierra. Un objetivo como éste debe ser asumido por todos y fundamentalmente aceptado por los poderosos.

Como lo ha señalado Juan Pablo II en el documento del 08/12/89, esta crisis ecológica constituye un **problema moral**.

"Es el respeto por la vida y en primer lugar a la dignidad de la persona humana, la norma fundamental inspiradora de un sano progreso económico, industrial y científico".

"La teología, la filosofía y la ciencia concuerdan en la visión de un universo

armónico, o sea de un verdadero Cosmos dotado de una integridad propia y de un equilibrio interno y dinámico. **Este orden debe ser respetado:** la humanidad está llamada a explorarlo y a descubrirlo con cautela, así como a hacer uso de él salvaguardando su integridad".

"Por otra parte, la tierra es esencialmente una herencia común, cuyos frutos deben ser para beneficio de todos". Dios ha destinado la tierra y cuanto ella contiene para uso de todo el género humano" (*Gaudium et spes*, 69).

Resulta claro que, como lo señala Su Santidad:

"La crisis ecológica pone en evidencia la urgente necesidad moral de una nueva solidaridad especialmente en las relaciones entre los países en desarrollo y los países altamente industrializados".

Frente a estas reflexiones, surge pensar que no son las fórmulas mecanicistas elaboradas por los hombres las que darán las soluciones.

ROL DE LA INGENIERIA

El papel de la ingeniería en esta nueva visión de la evolución humana, respetando el medio ambiente, debe ser decisivo. No se trata de un desseo. Compete a ella proveer los medios y las formas para satisfacer necesidades respecto de los ecosistemas o conociendo cómo se restituye la situación anterior.

Comúnmente, cuando se analiza la viabilidad de una obra de ingeniería, se define una relación entre las ventajas que se esperan y el costo que supone. Esto solo no alcanza; hay que evaluar además los daños que provoca al ecosistema. Sólo así podrá hablarse seriamente del **desarrollo sostenible**.

Sin duda, los avances tecnológicos se orientarán hacia aquellas formas de satisfacción de requerimientos con menor daño.

En el campo de energía eléctrica se avanza en soluciones alternativas. Por ejemplo, la energía solar, la geotérmica, la eólica, la marcomotriz, la hidráulica, la biomasa.

Los vehículos de transporte se orientarán a la impulsión eléctrica y el uso del hidrógeno como combustible no contaminante, tal como imaginaba Julio Verne en *La Isla Misteriosa*.

Por otra parte las micro-turbinas, casi tan viejas como el hombre en el planeta, pero equipadas con los últimos adelantos tecnológicos, harán un gran aporte. Hoy día ya están instalados en los EEUU más de 4000 MW mediante microturbinas hidráulicas y en el mundo 30.000 MW, aproximadamente.

Aunque para la mayoría de la gente es novedoso el término **biomasa**, es una vieja palabra que expresa la energía solar almacenada por fotosíntesis en la materia orgánica de los vegetales que pueblan la tierra. Constituye una fuente de energía latente, que según los cálculos groseros equivalen al 70%

de las reservas de carbón conocidas y casi cuatro veces más que las de petróleo comprobadas.

Sin duda, las industrias pondrán en marcha planes de cogeneración que suponen la producción simultánea de calor y electricidad, con lo que es posible reducir hasta el 35% del combustible primario, disminuir las pérdidas y bajar la agresión al medio ambiente.

En lo que hace al hábitat, el diseño racional que tiene como objetivo el ahorro de energía puede reducir en un 60% el consumo convencional. La necesidad de pensar en términos de ahorro ha inducido a la **Arquitectura bioclimática**, cuya principal base referencial es la energía solar pasiva en la que no existe ningún movimiento de fluido forzado artificialmente. Ya existen edificios de oficinas capaces de albergar 2000 empleados que trabajan sin usar calefacción ni aire acondicionado, que están diseñados para aprovechar el calor humano, el de los equipos de oficina y el calor solar, asegurando 20°C de temperatura en el interior en forma constante. La investigación colaborará para asegurar un crecimiento sostenible.

En similar medida, la ingeniería habrá de proveer nuevos medios que posibiliten satisfacer necesidades en el campo del abastecimiento de agua potable, la eliminación de los residuos que genera el hombre, la reconstrucción de las reservas forestales, la recuperación de la riqueza ictícola, etc. y como consecuencia de ello, la reconstrucción de la capa de ozono, la disminución del efecto invernadero y el establecimiento de ecosistemas habitables.

CON LA INGENIERIA NO ALCANZA

Toda esta serie de soluciones alternativas y otras más que irán surgiendo suponen un costo, como se dijo al principio. Este costo se requiere para profundizar la investigación, favorecer el desarrollo tecnológico y reprogramar la actividad industrial para el futuro. ¿De dónde surgirán los recursos económicos que se requerirán? De donde existan. Disponerlo supone una actitud colectiva de cooperación entre las naciones, es decir, se impone la **necesidad moral de una solidaridad** que señaló el Papa.

Una **nueva solidaridad** requerirá cuanto menos que todos tomemos conciencia de lo que hace nuestra desaprensión; que el puro lucro deje de ser el objetivo único; que todos respetemos a todos (si no somos capaces de amarlos). Todo esto supera ampliamente el campo de la ingeniería.

¿Qué hará la humanidad? ¿Persistirá en el error repitiendo el "non serviam" del ángel rebelde? ¿O finalmente entenderá el mensaje evangélico y colaborará con el plan de Dios hasta la consumación de los siglos?