

LA CIUDAD INFINITA

Ensayos sobre Medio Ambiente y Sociedad

Raúl G.E. Morales Segura



Ediciones Centro de Ciencias Ambientales
Universidad de Chile



Raúl Morales Segura

es Doctor en Ciencias con mención en Química de la Universidad de Chile (1981). Obtiene la primera Beca del PNUD-Química-Chile en 1985 y realiza una estadía postdoctoral en Princeton University, U.S.A., donde comienza sus primeras aproximaciones al campo ambiental. Actualmente es Profesor Titular de la Universidad de Chile y es el Director del Centro de Ciencias Ambientales desde el año 2010.

Ha sido Fundador de la Carrera de Química Ambiental de la Universidad de Chile (1995) que a la fecha ha formado más de docientos profesionales. Fundó también la Sociedad de Química Ambiental de Chile (1997), siendo su presidente en tres períodos; y la primera Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales.

Entre otros cargos, ha sido Director del Centro Nacional del Medio Ambiente, Director del Departamento de Química y Decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

Ha publicado más de ochenta artículos científicos en Físicoquímica Molecular, Ciencias Ambientales y Astroquímica, además de otras publicaciones en Educación y en Políticas Universitarias, con más de un centenar de presentaciones y diversas conferencias en Congresos Nacionales, Internacionales y como Profesor Visitante en Chile, Latinoamérica, Europa y Japón.

Recibió el año 2009 de la Sociedad de Química Ambiental de Chile la máxima distinción que esta entidad otorga: Premio a la Trayectoria Nacional en Ciencias Ambientales; y por su destacada trayectoria académica y compromiso con su ciudad natal la Ilustre Municipalidad de San Antonio le otorgó la distinción de Hijo Ilustre en el año 2010.

Ha publicado artículos de prensa en los principales diarios de circulación nacional y regional del país, ha escrito ensayos, monografías y libros en el área Ambiental y en Educación.

Entre sus libros y monografías se cuentan:

"*Manejo y Control de Especies Destructoras de la Capa de Ozono*", Ediciones Centro de Ciencias Ambientales, Universidad de Chile (2016), con Denis Clavijo Contador.

"*Horizontes de la Crisis Universitaria Chilena*", Ediciones Fundación Galileo (2008).

"*Contaminación Atmosférica Urbana. Episodios Críticos de Contaminación Ambiental de la ciudad de Santiago*", Editorial Universitaria (2006). Editor.

"*Retrospectiva de Fondecyt*", Editorial Universitaria (1998), con el Dr. Ricardo Maccioni.

Entre sus publicaciones científicas de los últimos años, junto a sus colaboradores, se cuentan:

En Ciencias Ambientales:

"*Accuracy and reliability of Chile's National Air Quality Information System for measuring particulate matter: Beta attenuation monitoring issue*".

ENVIRONMENT INTERNATIONAL, 82, 101-109 (2015).

Richard Toro, Claudia Campos, Carolina Molina, Raul G.E. Morales, Manuel A. Leiva.

"Trends and threshold exceedance analysis of airborne pollen concentrations in Metropolitan Santiago Chile".

PLoS ONE 10(5): e0123077 (2015).

R. Toro, J.A. Córdova, M. Canales, R.G.E. Morales, P. Mardones, et al.

"Inhaled and inspired particulates in metropolitan Santiago Chile exceed air quality standards".

BUILDING AND ENVIRONMENT, 79, 115-123 (2014).

Richard Toro, Raúl G.E. Morales, Mauricio Canales, Claudio González and Manuel Leiva.

"Carbonaceous Aerosols in Fine Particulate Matter of Santiago Metropolitan Area, Chile".

THE SCIENTIFIC WORLD JOURNAL, 1-12 (2014).

Richard Toro, Robert Flocchini, Raúl G.E. Morales and Manuel Leiva.

"Urban atmospheric ammonia in Santiago city, Chile"

AEROSOL AND AIR QUALITY RESEARCH, 14, 33-44 (2014).

Richard Toro, Mauricio Canales, Robert Flocchini, Raúl G.E. Morales and Manuel Leiva.

"Photochemical ozone pollution in the Valparaiso Region, Chile".

AIR QUALITY ATMOSPHERE & HEALTH, 7, 1-11 (2014).

Richard Toro, Camila Donoso, Rodrigo Seguel, Raúl G.E. Morales y Manuel Leiva.

"A study of water-soluble inorganic ion size-segregated aerosols in atmospheric pollution episode".

INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY", 11, 437 (2014).

Manuel A. Leiva, Richard Toro, Raúl G.E. Morales, María A. Ríos and María R. González.

"Ozone, nitrogen oxides and volatile organic compounds in a central zone of Chile"

AIR QUALITY ATMOSPHERE AND HEALTH, 8, 545-557 (2014).

Richard Toro, R. Seguel, Raúl G.E. Morales and Manuel Leiva.

"Ozone distribution in the lower troposphere over complex terrain in Central Chile".

JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES, 118, 2966-2980 (2013).

Rodrigo Seguel, Carlos Mancilla, Roberto Rondanelli, Manuel Leiva and Raúl G.E. Morales.

"Estimating the uncertainty in the atmospheric ammonia concentration in an urban area by Ogawa passive samplers".

MICROCHEMICAL JOURNAL, 110, 340-349 (2013).

Manuel Leiva G., Benjamin Gonzales, Daniela Vargas, Richard Toro and Raúl G.E. Morales.

En Astroquímica:

"Expected Radial Column Density of Methylcyanopolyynes in CW Leonis (IRC+10216)".

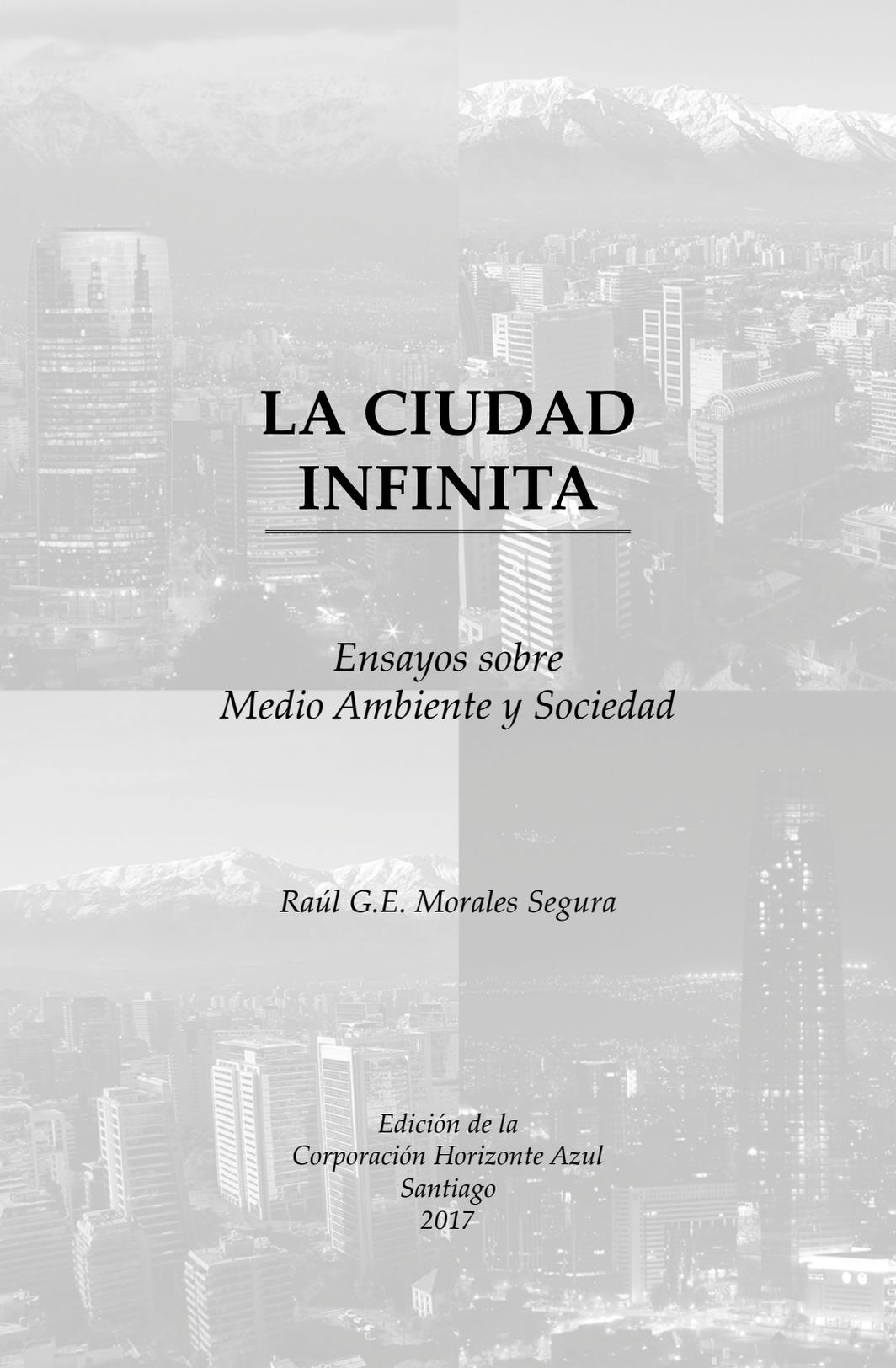
INTERNATIONAL JOURNAL OF ASTRONOMY & ASTROPHYSICS, 5, 141-147 (2015).

Raul G. E. Morales and Carlos Hernández.

"A molecular hydrogen production model from Li and LiH in the early Universe".

INTERNATIONAL JOURNAL OF ASTRONOMY & ASTROPHYSICS, 3, 108-112 (2013).

Raúl G.E. Morales and Mauricio Canales

An aerial, grayscale photograph of a city, likely Santiago, Chile, with a dense urban landscape and snow-capped mountains in the background. The image is split vertically into two panels. The text is overlaid on the right panel.

LA CIUDAD INFINITA

*Ensayos sobre
Medio Ambiente y Sociedad*

Raúl G.E. Morales Segura

*Edición de la
Corporación Horizonte Azul
Santiago
2017*

© Raúl G.E. Morales Segura

Registro de Inscripción Intelectual N° 275724

ISBN 978-956-368-755-2

Edición de la Corporación Horizonte Azul

Impreso en Editora e Imprenta Maval

Santiago de Chile

Año 2017

ÍNDICE

<i>PRÓLOGO</i>	9
<i>CAPÍTULO 1.</i> Ecosistemas Urbanos y la Ciudad Infinita	15
<i>CAPÍTULO 2.</i> El Sistema Universidad-Empresa en la Gestión Ambiental y la Contaminación Atmosférica	27
<i>CAPÍTULO 3.</i> Degradación de los Recursos Naturales	39
<i>CAPÍTULO 4.</i> Petcoke un Combustible Sólido en Conflicto	55
<i>CAPÍTULO 5.</i> Pérdida de Ozono Estratosférico en la Primavera Antártica	77
<i>CAPÍTULO 6.</i> Calentamiento Global: por la Ruta de la Energía y de las Emisiones Gaseosas	89
<i>CAPÍTULO 7.</i> El Mensaje de los Cometas	107
<i>CAPÍTULO 8.</i> Ecoética en Una Cultura Global	121

Prólogo

Medio Ambiente y Sociedad son hoy por hoy dos componentes interactuantes de nuestro lenguaje cotidiano en que, además, se han ido constituyendo en temas estructurantes del transcurrir noticioso en diversas circunstancias y sectores de nuestra realidad nacional. Es por ello que al decidirme a reunir estos ensayos en esta modalidad de libro, lo he hecho en el afán de no pretender cerrar un tema específico, ni pensar que con ello se ha dicho lo más sustancial sobre el particular, sino que por el contrario, lo pienso y lo hago para abrir y profundizar el debate en que cada uno de estos temas se desarrolla, en la idea de que surgirán, particularmente desde nuestros estudiantes, nuevas visiones y derroteros para entender algo más de nuestro hábitat, mejorar nuestra gestión y situarnos mejor en la inserción que tenemos en este vasto universo.

La elección de cada uno de los temas tratados no sigue un patrón previamente establecido, ni hay una necesaria continuidad entre unos y otros. Mas bien, representan una recolección de situaciones y hechos que he ido recogiendo en mi caminar ciudadano y académico, que en el transcurrir de mi propia experiencia y estudio de diversos temas ambientales, he debido ir profundizando por alguna inquietud propia, encargo o análisis de caso que con gusto he debido enfrentar.

Siento que el estudiar desde diferentes perspectivas científicas nuestro Medio Ambiente, de paso se va construyendo una nueva contingencia social y ética de cómo debemos enfrentar nuestra vida como especie, en un hábitat que aún nos sigue en gran parte siendo desconocido y, que a la vez, resulta ser significativamente sensible a los

cambios y avances con que vamos modificando este medio natural.

Por otra parte, las responsabilidades que como generación conductora de nuestra actual sociedad tenemos, son únicas e intransferibles, y solo podremos validarnos ante las generaciones futuras desde la perspectiva de desarrollar y establecer conductas éticas que sean congruentes con la sustentabilidad de nuestro único y solitario hogar en el cosmos.

Es en este territorio de vida, en donde la humanidad ha encontrado el entorno necesario para su desarrollo social y transferibilidad de conocimientos e inteligencia planetaria, en donde debemos garantizar su continuidad. Es nuestro compromiso entender que aquí debemos vivir en una permanente interacción y armonía con todos los demás seres constituyentes de este espacio único al que un día despertamos, disfrutamos y deberemos transferir a los que conformarán las generaciones futuras de una esperada e inagotable humanidad.

Raúl G.E. Morales Segura

Santiago, enero de 2017.

A mi nieto Santiago Augusto

CAPÍTULO 1

ECOSISTEMAS URBANOS Y LA CIUDAD INFINITA

Al acometer este gran tema de reflexión sobre el acontecer de la ciudad, me viene a la memoria, a modo de contrapunto, el título de esa gran novela peruana *“El Mundo es Ancho y Ajeno”*¹. Desde esa perspectiva antropológica y social rural que enmarca ese libro inspirador, bien podemos pensar en un paralelismo con el habitante urbano, donde la ciudad también se le presenta con un sentido de exclusión, cuestión que no emerge tan sólo desde lo social, económico y cultural, sino que, desde la realidad que experimenta al estar al margen del ecosistema natural, con un impacto adicional que, en la nueva sociedad de la información y del conocimiento, lo hace más vulnerable y menos participativo en la dinámica democrática con que hoy se proyecta la polis actual.

Considero que, en una visión integral y amplia del hombre y su cosmos, y en la tendencia de cómo estamos definiendo nuestras ciudades, hemos formalizado en el transitar de la historia de la Humanidad un proceso que bien podemos llamar *“De la destrucción de los ecosistemas naturales a la construcción de los ecosistemas urbanos”*.

Este proceso de complejidad urbana ascendente, y de una intrínseca desnaturalización ambiental, lo podemos apreciar en toda su dimensión si nos

1 *Novela del escritor peruano Ciro Alegría, publicada el año 1941.*

posicionamos en el principio del eje de nuestra historia social, rememorando esos lugares prehistóricos de la edad de piedra como Stonehenge o más reciente, en nuestra línea ancestral andina de Machu Picchu, pasando por todo tipo de asentamientos y organizaciones humanas que reconocemos en los Etruscos, Babilónicos, Egipcios, Griegos y Romanos y que, más tarde, se establecieron desde la edad media europea, con los nuevos conceptos de ciudad occidental, hasta lo que hoy son las grandes metrópolis o mega ciudades del período post industrial.

La ciudad infinita

Esta concepción de megaciudad ha ido gradualmente incorporando en el inconsciente del habitante metropolitano el concepto que denomino "*ciudad infinita*", vale decir, una ciudad que, en la perspectiva antropocentrista de dicho ser urbano, se proyecta como una superficie que no tiene límites que la cierren (Figura 1.1).

De este modo, desde que se nace en su seno y se le percibe como espacio habitual, que logra concentrar toda la actividad vivencial al interior de esta ciudad real, ciudad de lo sólido, material y espiritual, con el desarrollo de nuevas tecnologías, extiende hoy nuevas fronteras y amplitudes a través de diversos componentes como la Televisión e Internet, que la hacen emerger con nuevas potencialidades como ciudad virtual. Y es justamente esta última propiedad que hoy, con más facilidad que antes, nos permite ligarnos a ese lejano mundo natural del cual ya no formamos parte y que se hace más imaginario a nuestra cotidianeidad, especialmente, a medida que se descende en los estratos socio-económicos de



Figura 1.1. La ciudad amurallada delimitada (arriba) y la ciudad infinita sin límites pre-establecidos (abajo). Fotos del autor.

sus habitantes, en donde este ser urbano se refugia, cada vez con más frecuencia, en la virtualidad de una existencia que lo excluye incluso de la ciudad real.

Así, la pérdida del contacto sensorial con el ecosistema natural, producto de la bi-dimensionalidad de estas grandes metrópolis, empieza a definir una relación circunstancial u ocasional, permanentemente distante, para quienes, habitándola, no alcanzan a percibir la esencia de ese entorno natural lejano. De

modo que la metrópolis, en su constructividad actual, va instalando un ser urbano que desconoce la vivencia con este medio natural.

Si proyectamos, en un ejercicio teórico, una organización territorial urbana sobre la base de construir un primer radio de acción, un primer círculo, en el centro de lo que podríamos llamar un *ecosistema urbano*, su consecuente ampliación a un segundo círculo, con este nuevo radio imaginario, nos habrá de conducir a lo que podríamos denominar un *ecosistema natural intervenido*, que incorporando bajo este concepto a todo el mundo rural que lo circunda, lo circunscribe con una mirada permanente hacia la metrópolis estableciendo de paso un creciente apego a lo urbano. Sin embargo, más allá de este segundo límite, que corresponde a esta típica zona de intervención humana del mundo agrícola o recreacional, comienza a emerger el *ecosistema natural* o silvestre, ese verdadero ecosistema natural no intervenido, aun cuando, en gran parte, transitado, con su flora y su fauna autóctona y endémica, pero cada vez más distante del primer círculo o *ecosistema urbano*.

Esta evidente realidad, nos conduce a la esencia de esta "*ciudad infinita*", en que una metrópolis dinámica creciente mantiene un borde exterior no convergente y que, mirado desde su centro, su borde perimetral se configura lejano e infinito, pero que sin serlo en la escala real, aleja cada vez más a este mundo natural, prácticamente liberado a una suerte de vaivenes socio-económicos, que tienden siempre a su disminución territorial, en un sistemático retroceso bidimensional convergente sobre sí mismo. Así es, el ecosistema natural no crece, sólo está allí, y en la dinámica de

la megaciudad, contrariamente a ésta, se reduce y se aleja del ser urbano.

Es esta la visión que me hace pensar sobre la importancia de recrear y reconceptualizar la esencia de la nueva ciudad, inclusiva de la naturaleza y, por tanto, de la verdadera escala humana. Mas, ¿cómo desarrollarla en una nueva reconceptualización, entendiendo que efectivamente tenemos y debemos interactuar con el ecosistema natural? ¿Cómo hacemos para que este ser urbano pueda recuperar esa dimensión humana de la que formó parte e integró armónicamente en sus vivencias ancestrales con el mundo natural?

Me preocupa pensar que la ciudad, de mantener esta perspectiva, persista en seguir patrones conceptuales de crecimiento y desarrollo propios de *ciudad infinita*, con indicadores cada vez más evidentes de límites no convergentes, tendencia que no sólo vemos a nivel mundial, particularmente en el hemisferio norte, el más poblado, sino que nos sumemos con lo propio, como con el desarrollo de nuestra principal ciudad, y que, por lo demás, se emplee este Santiago como un modelo a replicar en otras regiones.

No nos resulta desconocido el hecho de que, el concepto de megaciudad como Santiago, se vaya extendiendo a la V Región,² donde tenemos una gran ciudad como Valparaíso, que se comienza a *conurbar* con sus ciudades aledañas, o más al sur, ciudades como Concepción³ o Temuco⁴, en donde

2 *Región de Valparaíso, Chile. La capital de la región es la ciudad de Valparaíso.*

3 *Ciudad del sur de Chile. Capital de la VIII Región*

4 *Capital de la IX Región, sur de Chile.*

todas empiezan a tener las mismas características en su interacción con el medio circundante; vale decir, círculos homogéneos sin interacción ecosistémica con el medio natural, alejándose gradualmente del límite natural con un borde dinámico en lo temporal, que no da término a la ciudad.

Cambios locales y parámetros físicos al interior del ecosistema urbano

A medida que hemos ido creando estas grandes metrópolis, hemos ido generando cambios en las variables físicas que forman parte de todo ecosistema y, en este caso particular, impulsando una transformación del ecosistema natural por el nuevo ecosistema urbano. De modo que, al igual como ocurre con cualquier ecosistema, en este ecosistema antropogénico también hay intercambio de materia y fluye la energía, con un carácter muy peculiar, puesto que su habitante es capaz también de reinventar permanentemente su propio hábitat, sobre la base de modificar y crear nuevos materiales, así como hacer usos diferentes de su territorio y de innovar con su proyección espacial.

Un desarrollo urbano donde las actividades antropogénicas interactúan con el medio natural, incide en variables intrínsecas de los recursos naturales fundamentales como el aire, el agua y los suelos, experimentando cambios que dan paso a un ecosistema emergente que se sobrepone al originario y lo transforma. Pero debemos saber que, también, trae asociado consigo nuevos fenómenos que van a trasuntar en impactos sobre sus habitantes, particularmente en aquellos subgrupos sociales que

no teniendo capacidad de aminorar o de responder a sus efectos, más temprano que tarde, verán finalmente afectadas sus subsistencias e impactadas, en algunos casos, letalmente, su calidad de vida.

En este orden de impactos, resulta novedoso percatarse que alcanzando determinados tamaños críticos de superficie, población y de actividades antropogénicas, comienzan a visualizarse cambios de parámetros físicos locales como nuevos fenómenos que afectan la naturaleza propia del asentado *ecosistema urbano*. Así, hoy encontramos que, a nivel mundial, este tipo de metrópolis está generando, por ejemplo, un nuevo fenómeno térmico en sus centros cívicos o zonas de mayor índice de construcción, denominado “*isla de calor urbano*”.⁵

Todos tenemos la experiencia de lo que significa estar al medio día en el centro de la ciudad, donde la masa de cemento y metal tienen una gran capacidad de absorción de calor, generando su propia irradiación sobre la atmósfera urbana y elevando los niveles de temperatura local, con serios impactos en la salud de sus habitantes. No ocurre el mismo fenómeno en los bordes de dicho ecosistema, dado que con el suelo natural, el suelo verde, o la tierra propiamente tal, que en su origen y constitución contienen su propio nivel de humedad o capacidad de retención de la misma, les permite tener asociada la gran propiedad de graduar la fluidez de distribución de dicho calor radiante. Por lo tanto, en la medida en que vamos

5 Hugo Romero y Melandra Molina, *Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.*

“*Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile*”. (2008).

generando estas megaciudades, estas *islas de calor urbano* comienzan a alterar la climatología natural de su entorno. Sólo en la ciudad de Santiago ya estamos hablando de haber incorporado al valle, del orden de 100 km² de construcción continua de cemento y metal, conformando la nueva isla de calor santiaguino.⁶

Si bien, en este mismo tipo de impacto local, han sido fuertemente afectados otros recursos ambientales como el suelo o sus aguas superficiales, no es menor el impacto que ha experimentado el recurso aéreo, afectando significativamente la calidad del aire, como lo es la emisión de nuevos gases y partículas que comienzan a variar su composición natural, ya sea por producción industrial o actividades que genéricamente podríamos clasificar de antropogénicas.⁶ Si bien, surgen iniciativas que buscan compensar o reparar dichas alteraciones, necesariamente estas alcanzan los objetivos propuestos o bien inician nuevos problemas de orden similar.

Así, surgen propuestas diversas como la frecuente y recurrente acción de forestar la ciudad sin considerar el origen y características de las especies con su hábitat natural, las que traen consigo nuevas emisiones biogénicas que se suman a los impactos de incrementar la complejidad de la química del aire urbano. Sobre esto último, vale la pena enfatizar que la mayoría de las veces forestamos sin tener en consideración el daño que especies introducidas producen, al ser incorporadas por criterios estéticos o por generación de sombra para la protección solar

6 Raúl Morales (Editor). *Contaminación Atmosférica Urbana. Episodios Críticos de Contaminación Ambiental de la ciudad de Santiago*, Editorial Universitaria (2006).

veraniega, pero que por no ser endémicas y propias de la latitud y altura geográfica, tienen un gran gasto energético, con una sobreproducción de metabolitos secundarios y, ante un mayor intercambio con el medio, terminan emitiendo a la atmósfera nuevos productos que incrementan la fotoquímica de la dinámica molecular propia de su entorno.

Sin duda que estamos frente a un gran desafío. Hoy tenemos una importante problemática sobre la cual debemos plantearnos. ¿Cómo construir ciudades que realmente tengan una escala humana?, que además, de todas las consideraciones urbanísticas que se puedan plantear, conserven la dimensión que determina la interacción con el medio natural, como una forma de no renunciar a nuestra verdadera naturaleza, sin excluirnos de lo que efectivamente es la condición de ser un *ser urbano* vivencial con el medio natural.

Cambios globales y el ecosistema urbano

En otra perspectiva, las ciudades, como ecosistemas urbanos, también están sujetas a perturbaciones externas producto de los grandes cambios ecosistémicos de escala global. Efectivamente, estamos experimentando cambios en las variables físicas locales, producto de la dinámica interna del asentamiento del propio ecosistema urbano, con gestiones ambientales que se han tratado de conducir desde la organización social y gubernamental y cuyas acciones se han ido produciendo de forma muy irregular, no siempre con resultados favorables en las diversas ciudades, a través de todo el país. Esta realidad es una muestra suficiente para entender que

nuevos problemas de mayor complejidad, hoy de carácter estratégico nacional, nos deberían obligar a repensar el concepto de megaciudad. Esto porque, si bien son temas asociados a los cambios físicos ya descritos, los nuevos que se nos avecinan desde el exterior de nuestros propios ecosistemas urbanos, tienen un modo de instalación cuyas escalas de tiempo son de varias generaciones y no alcanzan a percibirse con un impacto apropiado que llegue fácilmente a la conciencia social, no sólo de la ciudad, sino que de la nación toda.⁷ En particular quiero citar dos casos fundamentales: la energía y el agua.

Con respecto a la primera, en la medida en que estas megaciudades se desarrollan, hacen que ésta fluya hacia su interior, bajo diversas formas o medios que la contengan, generando un verdadero foco atractor, que a escala cósmica correspondería asimilarlas a lo que se conoce como un *black hole* (hoyos negros como grandes zonas en el cosmos que atrapan energía). Hemos de saber que en estas metrópolis, por la amplitud de su radio de acción y por su naturaleza real y virtual, han ido generando un consumo de energía que sobrepasa todas las expectativas básicas, haciendo que estas megaciudades no sólo sean grandes consumidoras de energía útil, sino que también, y finalmente, tras su uso, sean grandes centros degradadores de la misma, transformándola en calor disipado, sin capacidad de hacer trabajo útil, aumentando la entropía y contribuyendo a fortalecer estas “*islas de calor urbano*”. Por lo demás, la creciente demanda ecosistémica hace que su costo de acceso

7 Raúl Morales, “Política y Cambio Climático: Las ciencias, la conciencia y la acción”. *Le Monde diplomatique*, Editorial Aun Creemos en los Sueños, Junio (2007).

cada vez sea mayor, al igual que su distribución. Por consiguiente, un nuevo problema de exclusión social se genera para quienes les cuesta más acceder a dicho bien, vital para atender sus interacciones ecosistémicas, haciendo que el consumidor se sienta más fuertemente y no sólo pierda calidad de vida, en cuanto a sus bienes físicos fundamentales (aire, agua, suelos y biota), sino que también se aleje más de la influencia de la organización democrática, en que su calidad de ciudadano disminuye al manejar menos información y tener menos formación.

Por otro lado, tenemos el tema del agua que se está transformando en un grave problema, que a nivel mundial ha sido definido como un recurso escaso. En la realidad de nuestro país, el agua de nuestras ciudades es principalmente de naturaleza fluvial cordillerana o proviene de depósitos subterráneos que se dan en el mismo contexto físico de los valles que conforman las cuencas hidrográficas. Es un agua que fluye con una pendiente extraordinaria, desde la cordillera al mar, y que baja a raudales en trayectos muy cortos, con tiempos de retención mínimos que se focalizan al pie de sistemas montañosos costeros. Sobre esta realidad, el Cambio Climático, cuyos efectos se están produciendo en nuestro país a nivel de mayores sequías, según los datos estadísticos del último siglo, informados por el Panel Intergubernamental (IPCC)⁸, hace más evidente el permanente retroceso de las masas de nieve depositadas en la alta montaña andina, confirmado por estudios que se han desarrollado al interior de nuestra propia Universidad.⁹ Esto nos demuestra entonces que, en la medida en que no

8 *IPCC: Intergovernmental Panel on Climatic Change*

9 *Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.*

seamos capaces de organizar la ciudad, en términos de propender a almacenar y cuidar este elemento vital, a futuro nos enfrentaremos a un problema de supervivencia de nuestro propio ecosistema urbano, realmente complejo, estratégico y vital en la relación mundo urbano-mundo natural, traerá asociado inevitablemente una exclusión sobre el habitante más vulnerable, quién no accederá con igual propiedad al uso de un bien escaso.

Finalmente, al tratar el tema de la *Exclusión y la Diversidad del Barrio a la Metrópolis*, he buscado poner la mirada en la perspectiva que nos otorga la concepción ambiental, de modo de apreciar la evolución que están teniendo nuestras ciudades, frente a lo que serán los grandes problemas de cambio global que, como seres urbanos, tendremos que enfrentar.

No podemos ni debemos continuar aferrados a la concepción del gran núcleo urbano, que asimismo se avizora como si fuera infinito, sin bordes que lo cierren, pero que contrariamente a lo previsible, se multiplica generándose otros núcleos urbanos con los cuales ha comenzado una gradual interconexión, con una serie de nuevas consecuencias para el propio *ser urbano*. Bástenos ver que, el gran Santiago, ya no es la sumatoria de pequeñas ciudades de hace 30 o 40 años atrás.

Estos núcleos urbanos, ya conurbados, han ido retirando las áreas naturales intervenidas aún más lejos, mientras que las áreas de los ecosistemas naturales, ya casi no se perciben en el consciente del *ser urbano*. Por lo demás, este ecosistema natural que se afecta por los cambios globales, comienza a experimentar nuevos cambios que necesariamente

repercutirán en la estructura de la gran ciudad, la que a sus propias falencias suma las nuevas demandas crecientes de flujos de recursos vitales como agua y energía, cuya provisión se hace más crítica y feble.

Al cerrar estas reflexiones, pienso que aún tenemos la posibilidad de dar oportunidades al *ser urbano* que representamos, buscando soluciones para la nueva *polis* que debería suceder a las megaciudades o metrópolis que no incorporaron la interacción con el mundo natural, a objeto de que podamos generar ciudadanos más integrales, que valorando el sentido de lo urbano, no sea motivo para el sacrificio de su intrínseco sentido de lo natural.

CAPÍTULO 2

EL SISTEMA

UNIVERSIDAD-EMPRESA

EN LA GESTIÓN AMBIENTAL Y

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Rol de la Universidad-Empresa

En países subdesarrollados del tipo latinoamericano como el nuestro, cuyas materias de investigación y desarrollo tecnológico a nivel de capital humano de alta especialización, recursos de infraestructura tecnológica de punta y metodologías de vanguardia, están centradas principalmente en las universidades o centros de servicios derivados de su quehacer, la iniciativa de sus estudios y problemáticas quedan radicadas, fundamentalmente, en estos centros de conocimiento, aún cuando los efectos e impactos económicos y sociales están proyectados a segmentos específicos de la sociedad civil. Por tanto, las iniciativas y sus beneficios no están necesariamente articulados por un mismo interés gestor, y por lo general, existe un tercer sector que está asociado a las fuentes de financiamiento, que permite articular a los primeros.

En este contexto, la organicidad que define al sistema de gestión, determina la importancia de orientar la iniciativa científica desde una perspectiva de Estado, a objeto de ser coherente con la armonización de todos los escasos recursos humanos y materiales, lo que pasa a ser un elemento gravitante a la hora de diseñar políticas públicas que tengan una

proyección cimentada en el trabajo de estos grupos de investigación.

Por el contrario, de dejar sometida la iniciativa a la sola inquietud y preocupación del investigador, tiene el agravante de que no necesariamente llegue éste a lograr contar con los recursos suficientes para abordar de buena forma la problemática ambiental trazada, a parte de que no siempre confluyen los mismos intereses de bien público entre el investigador y el receptor beneficiario, además de incorporarse un factor de temporalidad a la ya difícil situación, lo que hará establecerse una estrategia de sucesivas aproximaciones o acercamientos a la esencia del problema, en escalas temporales que poco o nada van a contribuir a la resolución práctica y pronta del problema.

De ahí que resulte de meridiana claridad abordar el estudio de sistemas complejos, como los que encontramos en el campo ambiental y particularmente como se muestra en este trabajo, sobre aquellos vinculados al sistema urbano, en una perspectiva de libre iniciativa por parte del investigador, pero en ámbitos demarcados para el interés público que acerque políticas de financiamiento y de objetivos que directamente benefician a la población, de modo que exista la pertinencia de establecer una gestión acorde con los objetivos trazados desde que se inicia el proceso de investigación.

En este sentido, la problemática ambiental entorno a la calidad del aire urbano, que por sus limitaciones naturales viene en afectar a la población toda, surge como un caso de interés para analizar la cobertura de gestión existente que permite enfrentar su

problemática, en el objeto de proyectar una gestión específica apropiada.

De las características naturales que definen la complejidad fisicoquímica del sistema atmosférico urbano, que pasa por conocer las condiciones propias que definen un sistema atmosférico no intervenido, y de ahí el concepto de calidad, a lo que vienen a sumarse las diversas actividades antropogénicas que inciden en la compleja interrelación de factores fisicoquímicos y biológicos, son sus constituyentes materiales y sus dinámicas temporales los aspectos fundamentales cuyo dominio proyectan las soluciones que habrán de constituir el espacio apropiado de la gestión ambiental.

Es en esta perspectiva que estos aspectos básicos se constituyen en el referente apropiado para entender el rol de una concepción Universidad-Empresa que de forma coherente a una gestión ambiental, acorde con los recursos disponibles, las factibilidades de intervención del medio y los tiempos apropiados que permitan favorablemente impactar en la solución convenida para beneficio de la población.

Si efectivamente, y en una denominación genérica, a toda nuestra infraestructura ambiental organizativa y de recursos humanos y materiales le damos una denominación de Sistema Nacional de Gestión Ambiental, que sin conformar un ente propiamente tal, podemos distinguir en él la trama social respecto de sus productos con que contribuyen al desarrollo y al mejoramiento de los estándares de calidad de vida, desde mi particular punto de vista, podemos identificar claramente tres áreas específicas constitutivas de dicho Sistema: (a) Investigación, (b) Planes y Nor-

mas y (c) Fiscalización, las cuales, en nuestro país, se constituyen a su vez por un complejo entramado de unidades autónomas en su organización pero dependientes de diferentes instituciones gubernamentales, públicas y privadas.

En el área de Investigación confluyen principalmente centros universitarios y organismos ministeriales del Estado, en tanto que el área de Planes y Normas, la iniciativa ha estado radicado fundamentalmente a nivel de Gobierno Central (Ministerio del Medio Ambiente, MMA), Gobiernos Regionales y Municipales, en tanto que el área de la Fiscalización siempre ha sido una atribución y competencia de organismos ministeriales gubernamentales, hoy día con la aparición de la Superintendencia del Medio Ambiente y los nuevos Tribunales Ambientales.

Estas tres áreas, sin constituir un ente coordinado y sistemático, han ido estableciendo una demarcación de funciones, sin embargo, en la actualidad están muy lejos de tener un norte común y una política de Estado que estructure coherentemente su sistema orgánico. Con todo, y atendiendo a sus propios ámbitos de acción, han ido generando sus propios objetivos de acuerdo a: delineamientos previamente establecidos, en el caso de la Fiscalización; delineamientos aleatorios, supeditados a los cambios de autoridades gubernamentales cuyas prioridades y acentos van afectando la continuidad de políticas de largo plazo (décadas), como en el caso de Planes y Normas; y, finalmente, en Investigación, se han seguido principalmente delineamientos establecidos por motivaciones personales acorde con criterios e intereses científicos.

Considerando la estructuración de nuestro Sistema Nacional de Gestión Ambiental, resulta comprensible entender, entonces, que la iniciativa de investigación de los problemas ambientales está principalmente centrada en el ámbito universitario, y a su vez, las limitaciones de la creatividad que emerge de estos claustros, queda supeditada a la oportunidad de financiamientos que permitan levantar proyectos adecuados a las reales necesidades del Sistema y por consiguiente, establecer una adecuada gestión ambiental que racionalice las capacidades existentes.

Los Centros Urbanos y la problemática ambiental

Sin duda que hoy, en la medida que los centros urbanos comienzan a constituirse en la forma predilecta de densificación poblacional por parte de la organizaciones civiles, llegando a constituir lo que se denominan mega-ciudades, estos han pasado a constituirse en entidades complejas, apenas factibles de describir mediante parámetros cualitativos tales como población, uso del suelo, consumo de materias primas y energía, transporte público y privado, evacuación de residuos sólidos, emisiones líquidas y gaseosas, condiciones geográficas y climáticas, etc.

El adecuado control de estos parámetros, así como su necesaria interrelación, en una ecuación matemática que aún nos resulta desconocida, debería permitirnos llegar a establecer un modelo de centro urbano con una calidad de vida que se determine previamente para los fines de su apropiada configuración, con condiciones de borde que consideren la sustentabilidad, el uso de sus recursos naturales renovables y no-renovables y la distribución de riqueza.

No obstante la factibilidad de alcanzar la ecuación apropiada, desde el punto de vista de la complejidad que aporta el sistema ambiental físico al concepto de mega-ciudad, el descontrol que se origina desde el manejo inapropiado de los residuos sólidos y emisiones líquidas y gaseosas, tanto por la cantidad como por su distribución *in situ* y su posterior evolución en el ecosistema urbano, han hecho emerger un problema ambiental complejo que clasificamos genéricamente bajo la denominación de Contaminación Ambiental.

De esta genérica denominación, es de especial atención en el presente trabajo la dinámica y naturaleza que adquiere la Contaminación Atmosférica, particularmente por que el radio de acción de su efecto no está supeditado tan sólo al sector generador de sí misma, sino que por el contrario, alcanza un nivel de cobertura que se extiende a todo el ámbito de la cuenca atmosférica y cuyos deslindes quedan delimitados sólo por condiciones geográficas, atmosféricas y meteorológicas.

Del conjunto de descriptores factibles de identificar en el control de la contaminación atmosférica, surgen aquellos que pueden ser descritos de manera simple mediante un catastro de asociación directa, generalmente denominados bajo la concepción de *fuentes primarias* de generación. Sobre éstos se ha avanzado de manera más efectiva en su estudio y comprensión de su comportamiento en el sistema, sin embargo, otros que surgen de la asociación propia de las dinámicas que se establecen a partir de estas fuentes primarias entre sí y con su medio circundante, vale decir, componentes intrínsecos de la atmósfera, energía radiante y calórica, humedad y temperatura,

conducen a que se establezca un sistema complejo de interrelación, con patrones de comportamientos desconocidos que sobrepasan una descripción simple o intuitiva, y cuya dificultad los deja genéricamente descritos bajo la denominación de *fuentes secundarias*.

La gestión y la contaminación atmosférica urbana

A modo de ilustración consideremos la situación que se plantea en el ámbito de la problemática ambiental que se genera por contaminación atmosférica urbana en la ciudad de Santiago.

Desde que se declarase a la región Metropolitana como zona saturada por contaminantes gaseosos y partículas, hacen ya veinte años a la fecha, el Sistema Nacional de Gestión Ambiental operó a través de sus diferentes organismos, concertándose una determinación que permitió reconocer la existencia de un problema asociado a la mala calidad del aire y articular un mecanismo conducente a reparar y mitigar dichos impactos que se generan, especialmente, sobre la salud de la población.

Indudablemente, que el trabajo de investigación previo, asociado a iniciativas de implementar normas que permitiesen proteger a la salud de la población, disparó los primeros estudios al respecto. El trabajo generado desde la universidad, así como la preocupación gubernamental por demarcar los orígenes del problema, conduce finalmente a que el MMA, en su calidad de entidad responsable de los temas ambientales desde el Gobierno, inicie el proceso de normativas sobre la base de la implementación de estudios sistemáticos conducentes a establecer las

normativas acordes con las dimensiones conocidas a ese momento del problema.

El problema aludido, sin duda no es trivial. No sólo ha sido necesario recabar la más amplia experiencia internacional al respecto, sino que, además, ha sido necesario profundizar un conocimiento *in situ* que da la componente fundamental de las causas y orígenes de la contaminación atmosférica urbana de nuestra ciudad. Sin embargo, es necesario tener en consideración, que como parte de la complejidad misma del sistema, su conocimiento no es completo, exhaustivo ni definitivo, además de estar evolucionando con la naturaleza compleja misma del crecimiento de la ciudad.

Ante esta situación, cuya dinámica obliga a un Sistema Nacional de Gestión Ambiental a operar sobre la simultaneidad de variables que caracterizan al problema, quiénes asumen los roles conductores de la Gestión Ambiental, deben tener en consideración las potencialidades existentes en cada uno de los ámbitos que definen la estructura y funcionalidad del sistema, y articularlos apropiadamente.

Efectivamente, con la ausencia de alguna de las tres estructuras que constituyen el Sistema Nacional de Gestión Ambiental, la efectividad por lograr un éxito se hace remota, o se estanca, sin llegar a concebir un nuevo estadio de progreso en el medio social. ¿Cómo puede haber Gestión Ambiental si no se conocen los verdaderos orígenes del problema, o sus evoluciones físicas y biológicas que lo conforman?

El levantamiento de soluciones por parte del Gestor Ambiental, necesariamente pasa por el establecimiento de las preguntas científicas apropiadas que permiten

iniciar el proceso de investigación a objeto de dar respuesta a tales preguntas mediante la formulación de hipótesis que finalmente queden ampliamente demostradas y den pie al programa de soluciones que debe enfrentar finalmente el proceso de gestión.

Consideremos la problemática que se suscita con las denominadas fuentes secundarias de contaminación atmosférica. Analicemos un caso de mucha actualidad mundial y que nuestro país recién ha comenzado a vislumbrar apropiadamente. Me refiero al caso de los aerosoles secundarios y la contaminación que se genera por estas partículas sólidas. Hoy día está bien caracterizado el daño a la salud que genera este tipo de partículas menores a 2.5 micrones, tanto en su generación primaria como secundaria, y por ende no abundaré en su caracterización.

Sin embargo, ¿qué particularidad, desde el punto de vista estructural y dinámico de la ciudad, los hace un tema de estudio relevante y significativo en nuestra cuenca atmosférica? Dejo abierta esta inquietud, pues desde allí podríamos comenzar a converger en un conjunto de aspectos que definirían la apropiada articulación de nuestro Sistema de Gestión Ambiental en torno a esta problemática. De allí que cabe preguntarse, ¿de qué manera surge el gestor ambiental en esta problemática, en vistas a ser un articulador del Sistema, con el objeto de dar solución a un problema específico en un sector particular y propio de la ciudad?

Justamente he considerado pertinente considerar como caso de análisis las fuentes secundarias, porque sin tener un emisor responsable y directo, impide abordarlo por la situación trivial de gestión asociada

a la acción preventiva, compensatoria y punitiva correspondiente.

Por otra parte, ¿de qué manera este gestor puede promover la acción investigativa de la universidad en pro de un objetivo directo y específico de su campo de acción, en el ámbito regional o local, en que incide la problemática identificada? En el fondo, estamos reconociendo en la situación existente que la investigación esta localizada fuera del campo de acción del gestor, como lo es en nuestra realidad, y por tanto, estando él más cerca del receptor, ¿puede inducir el proceso de gestión que termine con la solución apropiada al problema identificado?

En esta misma línea de identificación del rol del Gestor Ambiental, ¿de qué manera su acción puede ser independiente de su campo de acción laboral, ya sea este público o privado? Planteo esta interrogante, particularmente por el hecho de que, si bien no hay duda en la importancia del rol universitario que juega en el sistema imperante, la articulación conceptual de Universidad-Empresa, viene a considerar un factor relevante en la nueva proyección hacia una acción concertada con el medio social productivo, que es el de la creatividad y la aventura en emprender con éxito un camino hasta hoy, escasamente recorrido. Justamente es en este ámbito en que el nuevo Gestor Ambiental debe poner su acento en hacer uso del Sistema Nacional de Gestión Ambiental existente.

Por ello que, al considerar un problema complejo como lo constituyen las fuentes secundarias de contaminación como los aerosoles secundarios, me pregunto ¿cuáles son las variantes que tiene el Gestor Ambiental para introducirse en la delimitación de la

problemática y alcanzar un nivel de solución para el problema de fondo que aqueja o aquejará a la población?

Finalmente deseo plantear la urgencia de acometer nuevos caminos entre Gestores e Investigadores en el contexto del actual Sistema Nacional de Gestión Ambiental, mientras el Estado no construya de forma implícita o explícita un sistema mejor o más evolucionado. Por de pronto es necesario conocer como opera éste, a objeto de poder usarlo en su máxima eficiencia y efectividad.

Considero que las expectativas de abrirnos a una relación más estrecha, entre los sectores de la gestión y de la investigación ambiental, permitirá imprimir una dinámica más acorde con las velocidades de cambio que requiere el actual Sistema Nacional de Gestión Ambiental y, por tanto, mejorar nuestras expectativas de calidad de vida.

CAPÍTULO 3

DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

Del infortunio a la oportunidad

En el mensaje del 12 de diciembre de 2012 en las Naciones Unidas, su presidente, el Sr. Ban ki-moon se dirigió al Mundo indicando: *“Desde 1990, al menos 18 conflictos violentos se han visto alimentados por la explotación de recursos naturales como la madera, los minerales, el petróleo y el gas. En ocasiones, esto se debe a daños ambientales y a la marginación de poblaciones locales que no llegan a beneficiarse económicamente de la explotación de los recursos naturales. Más a menudo, se debe a la avaricia”*.

Sobre el particular agregaba: *“Hasta la fecha, se ha encomendado a seis misiones de mantenimiento de la paz de las Naciones Unidas el mandato de apoyar la capacidad de su país anfitrión para restablecer el control de su base de recursos y detener la extracción ilícita por parte de grupos armados. Sin embargo, necesitamos un mayor énfasis internacional en la gestión de los recursos naturales en la prevención de conflictos, el mantenimiento y la consolidación de la paz”*.

Posteriormente, para abordar la complejidad de estas amenazas, se daría inicio a una nueva asociatividad a escala mundial entre la Unión Europea y las Naciones Unidas, en donde han declarado en su reciente página web lo siguiente¹⁰:

10 <http://www.un.org/es/land-natural-resources-conflict/>

“Los desafíos asociados con la prevención, la gestión y la resolución de conflictos inducidos por los recursos naturales bien podrían llegar a definir la paz y la seguridad global en el siglo XXI. Las tendencias globales, como los cambios demográficos, el aumento del consumo, la degradación del medio ambiente y el cambio climático, están creando presiones significativas y potencialmente insostenibles sobre la disponibilidad y la usabilidad de recursos naturales como la tierra, el agua y los ecosistemas”

Desde esta perspectiva, ¿qué acontece con nuestros principios y praxis, con valores trascendentes y de altos ideales en un permanente esfuerzo por alcanzar el perfeccionamiento humano y el desarrollo y construcción de una humanidad más humana?, pero que requiere de manera explícita un espacio físico definido, hasta ahora una externalidad conceptual, pero hoy más que ayer, demanda de una definición explícita para situar el contexto de nuestros principios. Sin duda que no podemos permanecer al margen de un proceso tan urgente y vital que compromete a toda la población mundial y su destino, la que en el transcurrir de su propia evolución emergen síntomas de una realidad en la que se torna más agresiva y consumista de su entorno en su actuar cotidiano.

Una sociedad convergente

Mediante un somero análisis de nuestro entorno, nos bastaría para apreciar como surgen evidencias de que estamos frente a *tendencias emergentes o directrices* convergentes que comienzan a reorientar y homogeneizar fuertemente el estado actual de nuestra sociedad humana. Para ello, detengámonos en algunos de estos casos:

- Población con crecimiento exponencial y acentuación del rol individual.

Hoy somos más que ayer. De acuerdo a las estimaciones de nuestra población mundial actual, hemos superado largamente los 6 mil millones de seres humanos. Esta superpoblación de especie mamífera, y por tanto heterotrófica, que se acompaña con sus casi 10 mil millones de cabezas de ganado y otros 6 mil millones de aves de corral, necesarias para su subsistencia, comienza a generar las primeras fases de un impacto a escala planetaria sobre su medio, sus recursos y su potencial de desarrollo futuro.

La ubicación geográfica de nuestro país, no permite percibir en toda su magnitud la esencia de esta superpoblación que se desborda ya en nuestro planeta. Sólo como un experimento imaginativo pensemos la posibilidad de una distribución equitativa de la actual población mundial, de modo de ocupar todo terreno habitable de nuestro planeta. Bajo estas circunstancias, nuestro territorio chileno continental debería acoger una población del orden de 100 millones de habitantes. Y como bien sabemos, con nuestros casi 18 millones de habitantes (6 veces menor), hoy no alcanzamos a cubrir siquiera un 20% de ese valor medio estimado. ¡Desconocemos los problemas de la alta densidad poblacional de otras latitudes!

Sin duda que, además de una serie de problemas relacionados con la intervención y el consumo de nuestros recursos naturales, el aumento de desechos gaseosos, líquidos y sólidos de nuestras actividades cotidianas, el mayor gasto energético para mejorar nuestra calidad de vida y, por tanto, el deterioro

sostenido de nuestro ambiente, no sólo por la acción directa nuestra, sino que también indirectamente por la gran cantidad de animales necesarios para nuestra subsistencia, han ido contribuyendo al desencadenamiento de una serie de eventos que están siendo caracterizados en lo que llamamos “Cambios Globales” (capa de ozono, efecto invernadero, erosión de los suelos o desertificación, agotamiento de aguas para consumo humano y humedales para la flora y la fauna silvestre, etc.).

Por otra parte, este gran aumento de población *que como fuerza ha ido atrapando en la masa al individuo*, ha traído aparejado consigo la pérdida de identidad social, generándose una fuerza de reacción individual contraria, hacia la búsqueda del reconocimiento y la necesidad de patentar su existencia ante el anonimato histórico.

Esta tendencia emergente, que tiene sus tempranos inicios en el Renacimiento, alcanza su mayor fuerza en nuestros tiempos, acentuándose en una sociedad de individuos que buscan preferencialmente su propio desarrollo y que al privilegiar el individualismo se generan y valida fuerzas complejas de egoísmos sustentables en una sociedad que se vierte hacia el consumo de bienes originados en los recursos renovables y no renovables de nuestro medio ambiente, sin importar el destino que trae aparejado su agotamiento en nuestro entorno y en las sociedades venideras.

- El impacto y predominio de la Ciencia & Tecnología

Una segunda directriz se debe al desarrollo que la ciencia ha establecido en su recorrido de casi ya tres

siglos y medios, un predominio tal sobre el saber, que ha llevado su conocimiento a la calidad de *verdad cierta y real*. Esto ha dado base a que sus Teorías confluyan como las únicas fuentes de explicación valederas del comportamiento de la naturaleza y con poder de predicción sobre la misma, constituyéndose así en los pilares fundamentales *para la búsqueda de la verdad* y obligando por tanto a la filosofía y a la religión a correr sus límites cada vez más lejos del dominio de la naturaleza física, más allá de lo tradicionalmente consensuado por el intelecto racional y desfanatizado de creencias y vivencias personales.

Como producto de su propia existencia, y hoy una fuente principal de su propio desarrollo, la *Tecnología* como rama complementaria y necesaria para la Ciencias, ha experimentado un crecimiento tal, que el poder imperante en nuestra sociedad ha comenzado a trasladarse desde la posesión del capital económico hacia la posesión de esta nueva esfera de dominio humano. El dominio de la tecnología ha traído aparejado al nuevo crecimiento económico y acumulación de riquezas, nuevas formas de investigar nuestra naturaleza, dejándonos sumidos muchas veces en la angustia del conocer en las fronteras mismas de la vida, *transformando la búsqueda de la verdad en un dilema de si es bueno conocer o mejor ignorar*. Sólo por citar algunos ejemplos, hoy surgen diferentes nuevas preocupaciones como:

a) la producción de “nuevos seres vivos” por medio de las técnicas de ingeniería genética, para así obtener sustancias de tipo terapéutico, aun cuando esto trae consigo cambios espectaculares en los procesos evolutivos, hasta ahora sólo manejados por la naturaleza;

b) el proyectar la simbiosis entre el hombre y elementos cibernéticos como los casos de prótesis múltiples o la demanda de nuevos y más trasplantes de órganos, situación que se ve contrastada con la manipulación de la muerte por la tecnología, hasta el punto de hablarse de un derecho a la muerte o buscarse el límite entre la vida y la muerte;

c) todo el panorama de procreación humana asistida (inseminación artificial, fertilización in vitro, desarrollos en úteros ajenos, o en probetas, bancos de espermios, etc.) y el derecho del embrión a la vida, etc.

Indudablemente que todos estos diferentes aspectos y otros que por extensión no he podido citar, ha comenzado a provocar resistencias enormes en el campo de la cultura tradicional religiosa y filosófica, añadida también a las crecientes preocupaciones de orden jurídico.

- Información planetaria y cultura global.

El flujo de la información por los medios de comunicación, hoy asistidos por toda una tecnología nueva, tanto satelital como de laser, computacional y de multimedia, ha hecho de las distancias un problema accidental en el contacto permanente de nuestra especie, la más diseminada por la faz de la tierra.

En tanto que la cantidad de información factible de procesar ha quedado supeditada a nuevas formas de almacenamiento, de alta velocidad de proceso y de increíbles cantidades de datos, problemas ya resueltos por los bancos de datos, los sistemas de redes de información (internet y otras), la telefonía informática,

y los nuevos sistemas de almacenamiento compactos de alta capacidad de memoria. Este descomunal avance a traído consigo las nuevas formas de control sobre la privacidad de las personas, la factibilidad de segregaciones automáticas del sistema financiero y comercial, etc.

Es más, el instantáneo saber y “el estar ahí” de lo que ocurre en cualquier sector local, regional o planetario, se ha transformado en un requerimiento esencial para la conformación de una verdad aceptable, que de otro modo sería de dudosa existencia. Esto, sumado a la rápida y contundente información visual-auditiva proveniente de otras culturas, o de otras formas predominantes de relación social, o en fin, por comparación con sus propias valoraciones autóctonas, inducen a estos nuevos individuos trans-societarios a una veloz asimilación y digestión de eventos psicosociales que se transmiten sin cuestionamiento o análisis, incidiendo en una globalización de una nueva identidad social planetaria.

- *Gobiernos, Gobernadores y Gobernados.*

Como otra tendencia emergente y fuertemente convergente de nuestros tiempos, surge en todo nuestro ámbito de la cultura occidental, con una gradual incorporación del resto del planeta, la concepción de Gobierno Democrático de Representación Popular. Sin embargo, este actuar social se ha venido complejizando con un esquema económico de carácter liberal, en donde la libertad política y económica se desdibujan principalmente en el plano individual, alcanzándose ribetes de repudio frente a la objetividad ética de que carecen gobernantes frente a sus gobernados.

Efectivamente, la relación de gobernantes y gobernados se establece dentro de un plano de absoluta inequidad, en donde la representación del Estado (congreso, gobierno, etc.) o de conglomerados (empresa, institución, etc.) se personaliza en un actuar sobre individuos que constituyen la masa, en tanto que desde la posición inversa, se establece una relación dispar al enfrentar el individuo a estos sistemas organizados como entes abstractos y carentes de toda humanidad. Vale decir se obliga al individuo a una adaptabilidad a un sistema de pautas de orden superior, pero sin reconocérsele un interlocutor que sea válido y equivalente en su permanente interacción social.

Bien, dejemos hasta aquí estas situaciones reflexivas en torno a estas tendencias convergentes que se insertan y condicionan hoy a nuestra compleja red social como *orden de organización superior*. Pero ya habrán de preguntarse si se evidencia alguna tendencia que se oriente en el sentido de dar cabida al derecho de la existencia natural del hábitat y su biota, en que efectivamente su desconocimiento vienen a impactar en algo tan fundamental como lo es el uso y abuso de nuestros recursos naturales. Ciertamente, a parte de evidenciar tan sólo una amenaza que la contaminación y la depredación trae a nuestra sociedad, particularmente en las grandes ciudades, no surge hasta el momento como una tendencia natural del desarrollo que hemos dado a nuestro estadio evolutivo como sociedad de lo cotidiano.

Sin embargo, ¿es la historia de nuestro ascendiente evolutivo un proceso continuo de complejización, que nos permita avizorar las formas de actuación

que condicionan nuestro actual desenvolvimiento y destino futuro, sin ignorar que nuestro medio es el espacio natural donde solo tiene cabida el desarrollo de nuestra verdadera complejidad biológica y social?

Socialización, sociedad y cultura

A diferencia de los animales inferiores, cuyo comportamiento de “jóvenes” es similar al de “adultos”, los animales superiores deben aprender modos apropiados de comportamiento. De ahí que, de entre los mamíferos, el ser humano se presenta como el más indefenso de todos ellos en su niñez.

Así, entendemos como **Socialización** “*al proceso por el cual el niño indefenso se va convirtiendo gradualmente en una persona autoconsciente, capaz de conocer, y diestra en las formas de la cultura en la que ha nacido*”¹¹. Sin embargo, esto que podría parecer como un modo de programación cultural, es indudablemente más complejo puesto que se produce una interacción entre el recién nacido y los responsables de su cuidado, que hace, junto con poner en contacto a diferentes generaciones, modificar y afectar las vidas de quienes se vinculan a su crianza.

Es por ello que la iniciación en *sociedad* de este individuo se hace a través de la *familia*, como primer estadio de una serie de agencias socializadoras que irá encontrando a lo largo de su vida, siendo tal vez esta la más relevante, dado que el aprendizaje cultural es mucho más intenso durante la infancia y la niñez temprana, aunque indudablemente el aprendizaje y el amoldamiento continuarán durante todo su ciclo vital.

11 Anthony Giddens, *Sociología*.

Aunque podría llegar a pensarse que la socialización es el proceso que nos conduce a un rigidización de nuestros límites de desenvolvimiento al someternos a moldes pre-establecidos y ya preparados para nosotros, donde nos condiciona nuestra personalidad, nuestros valores y el comportamiento que desarrollamos, es sin duda también el origen de nuestra propia individualidad y libertad, ya que en el curso de la socialización se alcanza un sentido propio de la identidad y de la capacidad de actuar y pensar de un modo independiente.

De ahí que, al igual que los patrones de órdenes biológicos superiores como órdenes de complejidad adaptativa creciente de organización, en el contexto social hemos ido estructurándonos en torno a una serie de órdenes sociales más complejas que hacen de nuestra individualidad una residencia obligada para coexistir y participar gratificantemente de nuestro propio desarrollo.

Y aquí quisiera enfatizar, tal vez, lo que debería ser un punto central en este análisis. La evolución de nuestro conglomerado social ha alcanzado un nivel de crecimiento y complejidad tal, que el individuo se inserta ya irreversiblemente en el sistema, consolidando nuevas propiedades de éste que surgen de su *simbiótica* incorporación.

Desde su incorporación a la primera unidad de socialización como lo es la *familia*, el individuo comienza a incorporar una serie de controles que le permiten acceder al beneficio de la pertenencia y que, por otra parte, el sistema organizacional requiere para definir su ámbito de cobertura que lo legitimize y le de una existencia de supra-individuo como sistema

cerrado. Así, por ejemplo, en este ámbito de la familia el control de la reproducción establece una normativa central para su existencia (consanguineidad), así como el reconocimiento jerárquico de sus progenitores.

De igual manera podríamos ir descubriendo que en cada grupo u organización escolar, social o religiosa, el control del ingreso de sus integrantes, la jerarquización de sus estructuras internas y el dominio de su sub-cultura (ritos, costumbres, artefactos, etc.) van generando una serie de controles necesarios para dar existencia y legitimizar su inserción social. Por ejemplo en la escuela: el individuo sigue un proceso de incorporación, aprende ritos y normas, conoce procedimientos, diferencia artefactos, reconoce jerarquías y se somete a sus condiciones con el objeto de alcanzar su bien último (formación, conocimiento, capacidad de adaptación a estructuras de orden superior).

También podríamos ejemplificar en organizaciones religiosas, deportivas, políticas, científicas, etc., y la naturaleza de éstas seguirían similares patrones de referencia.

Sin embargo lo que hace que estos *“complejos sistemas organizacionales adaptativos”* puedan situarse por sobre el individuo y conducir una suerte de interacciones supremas entre estos entes organizacionales en lo que es hoy nuestra avanzada y compleja sociedad humana, es sin duda la aceptación de parte del individuo de la serie de condicionantes que va estableciendo en la convivencia con sus iguales. Es decir, en la valoración de los actos y de los fines que se propone emprender en su relación de pertenencia interactiva social.

Aquí surge fuertemente su necesidad de establecer la fuente valórica o ética para integrarse conscientemente en cada una de sus actuaciones al medio social, sin perder la capacidad de adaptabilidad para alcanzar su bien último: la felicidad.

El sutil contexto de la ética para proyectar el valor de nuestro entorno

“El Saber nos conduce al Bien y a la Virtud, los que sumados a la Ética y a la Política, dan sentido a la vida de la Sociedad (Polis)”. Sócrates

Desde un punto de vista tradicional, la ética se ha centrado, como campo de estudio, en establecer valóricamente los niveles de conducta interpersonal, en como los seres humanos se deben comportar unos con otros, en como se deben establecer los deberes entre gobernantes y gobernados, etc. Así, la ética *constituye todo cuerpo de ideas que tienen por objeto el estudio de la conducta humana en tanto que esta se hace merecedora de un juicio de aprobación o desaprobación.*”

De ahí que la ética se proyecta como un verdadero eje central que vertebra la acción moral del hombre, vale decir, adecúa su conducta a pautas socialmente aceptadas, al que impone una normativa en sus costumbres, pensamientos y actos. De modo que al hablar de ética, esencialmente nos referimos a una disciplina práctica, que antecede a la concreción de las actividades humanas, en la que podemos avizorar diferentes cuerpos de ideas generales en la fundamentación de los preceptos morales particulares. Este continuo ético que se constituye desde un *Relativismo* que se compone de elementos de satisfacción, de consecuencias, de conceptuar lo

bueno, hasta un *Absolutismo* basado en una concepción de ley moral, deber, derecho, etc., ha dado pie para que asumamos diferentes posiciones valóricas ante hechos comunes afectando nuestras *complejas organizaciones adaptativas*.

Pero, ¿por qué hablar hoy justamente de Ética y Sociedad frente a la degradación de nuestros recursos naturales? Hablamos de Ética porque sin duda de este modo alcanzamos una reflexión autónoma, crítica y arquitectónica que orienta el proceder individual y la actuación social de los hombres que libremente buscan su perfeccionamiento, en síntesis, que orienta el obrar humano. Hablamos hoy de Ética, pues, es a través de ésta que afirmamos la existencia y el predominio de los *valores y principios espirituales y morales*, en tanto se interesa por el bien de los *hombres concretos* tras la conquista de la felicidad individual o en sociedad, pero en un mundo de realidad física y no solamente espiritual.

Sin embargo, pensar que la ética es meramente un conjunto de teorías o ideas surgidas de la idealización de un ser perfecto, cuyas características nos son prefijadas por una abstracción platónica, fuera de la realidad que como especie biológica y natural de esta creación somos, sería renunciar tempranamente a estados de conciencia más profundos y desconocer por tanto, cada nuevo avance en los conocimientos que hoy albergamos. Es más, sería seguir desconociendo la naturaleza propia de la cual estamos hechos, y que tras una antigua y reflexiva sentencia griega de: "*CONÓCETE A TÍMISMO*", no haríamos si no, ignorar su proyección real en el contexto de la sociedad actual con: "*CONOZCÁMONOS A NOSOTROS MISMOS EN NUESTRO INHERENTE HABITAT*".

Es por ello que el hombre al conocer el bien, lo interioriza, lo hace suyo, y a partir del bien poseído surge naturalmente, intrínsecamente, el movimiento hacia él. Así, sólo desde una base racional y coherente sobre el modo de conocer y de valorar nuestras acciones, estaremos en condiciones de ir estableciendo las bases necesarias de una sólida Ética Social integrada a su Medio Ambiente, que determine y *equilibre las tendencias que el sistema en un mero afán adaptativo tienda a ir creando*, acentuando en el individuo el predominio de influir en la direccionalidad de nuevas culturas y de una educación siempre en renovación, de modo que en forma crítica desde la individuación el colectivo siga su marcha ascendente como supra-organización mejor adaptada.

Hacia un desarrollo planetario

Como en toda organización social civilizada, se debe tender a un sistema organizado adaptativo de jerarquía superior en la escala ascendente del bien, que emule a las organizaciones más elementales que dieron origen al concepto de vida en nuestro azul planeta.

De hecho, estamos en un continuo ciclo autopoyético dentro de un conglomerado social que cada vez se estructura más para alcanzar un logrado supra-organismo social, pero por ello no menos valedero que cualquiera de los anteriores. Sólo la adecuada adopción y administración de nuestras conductas éticas y morales permitirán hacer una conducción consciente en el desenvolvimiento de este nuevo ente planetario.

La conformación de este nuevo y emergente supra-organismo ético que se constituye con cada uno de

nosotros, reforzaría nuestras organizaciones, al igual que las más elementales células procariontes que un día, y ya hace muchos millones de años atrás, dieron paso a asociaciones de células eucariontes, y éstas a nuevos conglomerados más perfectos en su recíproca asociación hasta lo que hoy día representan nuestros animales superiores. ¿Es que en ese entonces hubo conciencia del futuro que les acaecería a las células que se adaptaban al sistema?, y de lo que se perderían aquellas que no se incorporaran, prefiriendo vagar libremente y seguir así en su mismo estadio primitivo?

¿Son estas tendencias emergentes y convergentes las nuevas directrices del organismo social que se incubaba para beneficio de sus asociados o endosimbióticos seres y su futuro desarrollo social? ¿Estamos ya siendo parte del nuevo prototipo que se adaptará mejor a esta nueva superestructura, pero que nos aleja de una trascendencia de continuidad temporal?

No tenemos la respuesta a tan evidente realidad y a cuyos lapsos de tiempo que habrán de transcurrir nos superan largamente. Pero no podemos estar ajenos a que estamos llamados a contribuir al desarrollo de este nuevo tejido social en donde nuestro ser se direcciona hacia los demás seres a través de un espacio que nos debe ser propio y consustancial como lo es nuestro medio ambiente. Un espacio en donde sus recursos, tanto renovables como no-renovables definen la naturaleza de nuestro entorno y único para un desarrollo de una vida plena y en sociedad. No podemos concebir nuestro crecimiento al margen de nuestro espacio ambiental natural, que como bien sabemos, cada vez será mas escaso y homogéneo, perdiendo gradualmente la diversidad por el

agotamiento del espacio físico natural que se consume tras el avance del paisaje urbano y metropolitano.

Como personas de bien, estamos llamados a generar espacios de reflexión que nos permitan entender que el agotamiento o la degradación de nuestros recursos naturales o sus transformaciones globales traen un cambio co-sustancial con nuestra permanencia como la conocemos aquí en la Tierra. Sin embargo, hay aspectos fundamentales en nuestro modo de vivencia y convivencia social que requieren de nuevos paradigmas para reinstalar una sociedad universal más amplia, diversa e inclusiva. Sólo en la armonía de la naturaleza y en la inteligencia de nuestra especie podremos redirigir nuestros valores existentes que amenazan con un orden mundial y de concepción valórica existente, que ni los grandes gobernantes del Planeta logran orientar en el afán de alcanzar una humanidad más solidaria y respetuosa de la vida en toda su natural extensión.

Si es que efectivamente somos la humanidad que buscamos ser, no nos deberá faltar, entonces, la fortaleza para abordar y construir las nuevas rutas que habrán de llevarnos a un nuevo encuentro de desarrollo planetario y social que contemple al hombre en su real hábitat y en la trascendencia de su descendencia como continuador de su propia existencia.

CAPÍTULO 4

PETCOKE UN COMBUSTIBLE SÓLIDO EN CONFLICTO ¹²

El petcoke o carbón de petróleo, como combustible sólido obtenido desde el crudo de petróleo mediante un proceso productivo específico, ha desencadenado un amplio debate nacional y regional debido a los diferentes impactos que podría ocasionar tanto a nivel de intereses económicos y sociales, como ambientales, producto de la puesta en marcha de operaciones de generación eléctrica en plantas termoeléctricas del país con este combustible alternativo, particularmente en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

La convergencia de diferentes actores sociales en este debate nacional, representados por autoridades administrativas y técnicas del Estado y de las diferentes empresas generadoras de electricidad, así como académicas y del medio social organizado, ratifican la expectación que genera esta materia y la necesidad de llegar a establecer consensos que permitan lograr acuerdos dentro de los marcos legales que otorgan nuestras normativas nacionales en materia de desarrollo.

Como académico y científico no me es posible marginarme de las necesarias reflexiones que

12 El autor agradece al Dr. Hernán Ríos por la fructífera discusión de los contenidos del presente documento, así como al Ingeniero Sr. Andrés Tornquist y al Químico Sr. Gregorio P. Jara, por sus valiosas colaboraciones durante el proceso de recopilación de información técnica.

requiere el tema y contribuir, desde una perspectiva propia, con los conocimientos y experiencias que al respecto hemos adquirido sobre el tema. En efecto, la superación de los problemas medioambientales constituyen, hoy por hoy, uno de los desafíos más relevantes para la sociedad toda, particularmente, en el compromiso de hacer de nuestro país una gran nación, regida por principios sólidos de equidad y de igualdad de oportunidades, bajo el principio orientador de desarrollo sustentable. Es en este marco referencial que hemos emprendido diversas tareas de apoyo a la ciudadanía nacional, a través de estudios conducidos tanto a organizaciones estatales como públicas y privadas, en forma permanente.

De ahí que, considerando nuestro compromiso ético con el país, hemos velado por mantener un espíritu de independencia en la toma de resoluciones cruciales para diferentes grupos sociales, teniendo siempre presente que nuestras recomendaciones obedecen a la resultante de interpretaciones técnicas que, tras el desarrollo de estudios consistentes, nos permiten alcanzar con mayor o menor grado de acierto las conclusiones establecidas.

Es en este contexto que, con la experiencia práctica que he logrado aquilatar al auditar ambientalmente la presencia de petcoke en nuestro país, llego a plantear y dar fundamento al presente análisis.

Viabilidad Ambiental del Petcoke como Combustible

Para poder atender si el petcoke es viable ambientalmente, como inquietud fundamental que ha generado toda esta controversia en el medio

nacional, deberíamos tener en consideración una serie de antecedentes, además de establecer la naturaleza efectiva de este material químico y de su medio de aplicación tecnológico (Figura 4.1).



Figura 4.1. Material de petcoke.

Fuente: <http://toptec-trading.com/index.php/coal-trading/selling-coal/pet-coke>

De ahí que, bajo la consideración de un adecuado y riguroso manejo, al igual como se procede con la mayoría de los combustibles que se emplean cotidianamente en nuestro país, considero necesario establecer algunos argumentos y fundamentos que han conducido a plantear por qué el petcoke es un combustible con potencial uso industrial. En la Tabla 4.1 se describen las principales variables y características asociadas al establecimiento de la viabilidad ambiental de este combustible.

Sin duda que las diferentes variables descritas permiten ir condicionando una decisión compleja como la planteada, al establecer los ámbitos en que el empleo de este combustible impactará el medio social, con alcances en lo económico y ambiental, y en lo que su viabilidad estará asociada a la resolución de diferentes problemas que se habrán de plantear sucesivamente.

Tabla 4.1
VARIABLES ASOCIADAS A LA VIABILIDAD AMBIENTAL
DEL COMBUSTIBLE PETCOKE

Variables	Características
1. Transporte	Marítimo
2. Almacenamiento	Apilamiento a granel de sólidos estables
3. Capacidad Energética	Alto poder calorífico
4. Proceso de Empleo	Combustión de mezclas con carbón
5. Residuos	Gases, particulado y cenizas sólidas

Las ventajas comparativas que presenta petcoke respecto de otros combustible líquidos o gaseosos, saltan a la vista en materia de transporte y almacenamiento, puesto que sus características fisicoquímicas como combustible sólido y estable, permiten manipularlo con bajos índices de riesgo tanto para operarios y técnicos en la empresa como integrantes de la población en que está inmersa su operación (Figura 4.2).

Por otra parte, su alto poder calorífico respecto de otros combustibles sólidos, como el carbón, incluso superior a las mejores variedades de carbón antracítico, lo hacen ser muy apropiado para alcanzar altos estándares de energía por unidad de masa del mismo. Vale decir, no sólo se requieren menores cantidades, si no que además permite optimizar mejor su empleo, transporte y almacenamiento, y consecuentemente, sus residuos.



*Figura 4.2. Acopio de Petcoke en puerto de desembarque en Tocopilla.
Foto del autor.*

En cuanto al proceso de combustión, requiere prácticamente la misma tecnología de combustión que el carbón, por lo que, con ajustes técnicos menores es posible que las actuales calderas existentes puedan ser empleadas para una variedad de mezclas de petcoke y carbón, de acuerdo a las especificaciones tecnológicas vigentes. De este modo, la capacidad instalada se abre hacia una mayor variedad de combustibles sólidos y/o líquidos, ganándose una diversidad de alternativas que, en el futuro, pueden ser convenientes para enfrentar de mejor forma situaciones de crisis o de fluctuaciones del mercado, que no sólo afectaría a las empresas en cuestión sino que también a sus comunidades sociales y clientes.

Finalmente, los residuos generados por este combustible son, al igual que en el caso de los carbones, de naturaleza gaseosa (principalmente SO_x , NO_x , H_2O , CO y CO_2), partículas atmosféricas y cenizas

sólidas, estos últimos con un significativo contenido de metales pesados como Vanadio y Níquel, que, aunque a nivel de trazas, resultan particularmente importantes desde un punto de vista toxicológico.

Un aspecto específico en la acumulación de cenizas lo constituye el depósito de éstas en vertederos que cumplan con las exigencias de seguridad para su confinamiento definitivo. En la Figura 4.3 se muestra el depósito de cenizas de la quema de carbón y petcoke de las plantas termoeléctricas en Tocopilla, el que se constituyó en el borde costero al norte de la ciudad por tantos años. Los diversos problema que causaron a los habitantes de la ciudad que recibían en ciertas condiciones meteorológicas el polvo que se levantaba desde estos depósitos hacia la ciudad, terminó con su cierre y posterior traslado, con costos significativos para la población y la empresa.

Impactos Ambientales Físicos

Así, no resulta difícil comprender que es en el contexto medioambiental físico que este tipo de residuos alcanzan su mayor impacto, toda vez que se incorporan al medio ambiente en los distintos tipos de escalas espacio-temporal. En la Tabla 4.2 se presenta una síntesis de estas escalas y los residuos de mayor impacto ambiental.

Es bien conocido por todos los efectos del aumento de los gases invernaderos como CO_2 , aspecto que ha concitado preocupación mundial respecto del empleo de combustibles a base de carbono, sin embargo, sin ser esta una materia menos preocupante, esta fuera de nuestro ámbito de análisis en esta oportunidad. En tanto que las emisiones a escala regional, si bien son de



Figura 4.3. Acopio de cenizas de Petcoke en vertedero al norte de la ciudad de Tocopilla. Foto del autor.

un impacto menor que el factible de esperar, debido a las tecnologías de abatimiento de gases existentes y dado los procesos de combustión empleados, no representan un problema ambiental del mismo grado que a nivel de escala local.

Es en este último contexto en donde resultan ser relevantes cada uno de los diferentes tipos de contaminantes que conforman los residuos aéreos y sólidos descritos en la Tabla 4.2. Es en este nivel en el que se centra nuestra mayor preocupación para poder enfrentar satisfactoriamente todas las demandas del sector social local, regional y nacional, tras la puesta en marcha de proyectos energéticos que incorporen combustibles del tipo petcoke.

Por ello, es dable entender el conjunto de realidades que conforman nuestro entramado social, en donde en el nivel de *realidad local* surgen demandas legítimas de rango constitucional como “el derecho a vivir

Tabla 4.2
Impactos Ambientales Físicos
en la Combustión de Petcoke

Impactos Ambientales	Residuos
1. Escala Planetaria	Emisiones de CO ₂
2. Escala Regional	Emisiones Gaseosas Gaseosa (SO _x y NO _x)
3. Escala Local	Emisiones Gaseosas (SO _x , NO _x , CO, y O ₃) Emisiones de Particulado Residuos sólidos

en un medio ambiente libre de contaminación”¹³, conjugados con la posibilidad de acceder a fuentes laborales que permitan otorgar un vivir realmente con dignidad y calidad de vida acorde a las expectativas de una sociedad como la chilena, que legítimamente aspira a salir del subdesarrollo.

A esta realidad se superpone la *realidad normativa* que busca, a través de la legislación y reglamentación, ir dotando al país de un marco referencial de desarrollo sustentable, de modo que exista “un mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras”¹⁴.

13 Ley N°19300, sobre bases generales del medio ambiente.
 Artículo 1°.

14 Cita anterior, Artículo 2°, letra g.

Finalmente, este conjunto de realidades debe englobarse con la *realidad nacional*, la que necesariamente debe proyectar su visión en escalas de tiempo más allá de las inmediatas que requieren las acciones coyunturales sociales y de mercado, permitiendo la adecuación del país a expectativas futuras de desarrollo, disminuyendo su vulnerabilidad frente a riesgos, siniestros y catástrofes naturales.

Seguridad Nacional y Medio Ambiente

Por lo anteriormente expuesto y siendo la energía principalmente un bien estratégico, el concepto globalizador que presupone el contar con una *realidad nacional* acorde con las expectativas que abre el manejo de combustibles, especialmente en el Norte Grande, no debe estar ajena a un conjunto de variables estratégicas que significan enfrentar su empleo en el corto, mediano y largo plazo. De ahí que, en la Tabla 4.3 se describen las principales variables a considerar en una perspectiva de este tipo.

Es altamente significativo desarrollar un análisis estratégico en términos de la seguridad nacional y el medio ambiente, puesto que toda vez que vulneramos la seguridad nacional, el medio ambiente recibe con mayor fuerza los impactos derivados de las adecuaciones reactivas que considera la situación de emergencia producida.

En ese contexto, en la tabla aludida, se plantean cinco puntos que estimo del caso considerar, puntos en los que bien vale la pena insistir en orden a comprobar la viabilidad ambiental del combustible bajo análisis. Siendo todos ellos necesariamente motivo de un largo análisis, quisiera en esta oportunidad acentuar

Tabla 4.3
Seguridad Nacional y Medio Ambiente

Variables	Riesgos, Siniestros y Catástrofes
1. Control de fuentes de energía	Riesgos nacionales e internacionales
2. Diversificación de tipos de fuentes generadoras de energía	Riesgos nacionales
3. Acciones terroristas	Siniestros nacionales e internacionales
4. Estados de emergencia	Catástrofes naturales
5. Estados de guerra	Catástrofe ambiental, económico y social

mi visión en al menos un par, que pueden estar más sujetos a nuestra consideración y dimensionar mejor nuestros propios alcances, estos son:

Control de las fuentes de energía. Esta variable nos proyecta a un ámbito que, sin duda, va más allá de las implicancias que puede tener el autocontrol generado por las leyes de mercado, toda vez que, bajo consideraciones de estabilidad político-social, responde a situaciones normales previstas por las leyes de la oferta y la demanda, pero que indudablemente, frente a situaciones de inestabilidad político-social, agotamiento de recursos naturales o situaciones de calamidad pública, producto de los embates de la naturaleza, el control de las fuentes energéticas, contrariamente a lo esperado, tiene destinos impredecibles o difíciles de manejar apropiadamente, más si se localizan fuera del territorio jurisdiccional soberano.

Sobre esto último ha sido patético como todo el programa que llevó adelante el Presidente Eduardo Frei Ruiz-Tagle con el Gobierno argentino de la época, para traer el gas natural a Chile por los grandes gaseoductos en el norte, centro y sur del país, en un solo acto administrativo del gobierno trasandino, quedamos a la deriva en la adquisición de dicho combustible generando de paso una crisis energética a nivel nacional.

De ahí que los riesgos asociados a esta variable no sólo tienen relación con la manera que se hace la conducción de nuestra política internacional, sino que además, están sujetos a los vaivenes que experimentan también los países en materia de sus propias políticas de seguridad nacional, frente a acontecimientos que ponen en riesgos sus soberanías o estabildades políticas, y que cobran mayor importancia cuando estos tienen influencias de control sobre las fuentes energéticas o sobre las vías de conducción o transporte de las mismas. De allí que esta variable cobra singular importancia cuando se tiende a una concentración de las generadoras en una monoproducción energética, determinando una vulnerabilidad potencial significativa.

Diversificación de fuentes de energía. El Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) tiene como principales usuarios a las empresas mineras, para quienes la energía es un bien fundamental para poder desarrollar sus actividades, actividades que por lo demás, comprometen el patrimonio nacional tanto de los recursos que se logran directamente por medio de la empresa estatal, como por los impuestos que ingresan a través de la empresa privada.

La vulnerabilidad de esta actividad esta regulada, entre otros parámetros, por el suministro y costos asociados a la producción energética. De allí que no resulta difícil entender la necesidad de poseer un sistema de fuentes generadoras estables y diversificadas, en cuanto a los tipos de generación eléctrica.

La experiencia vivida en el transcurso del primer semestre del año 1999 en el Sistema Interconectado Central (SIC) producto de la extensa sequía, dejó patente la necesidad de que en la perspectiva de país no se puede repetir una experiencia tan traumática y crítica que vulneró funciones vitales de nuestra actividad económica y social nacional con un racionamiento inesperado. Tanto es así que, una situación catastrófica natural y esperable en un ciclo de tiempo dado, como lo fue el período de sequía experimentado en el sector central y sur de nuestro país, dejó al descubierto una falencia fundamental en nuestra realidad energética nacional.

Por cierto, de esta experiencia hemos de concluir que para períodos de anormalidad como el recientemente vivido, la producción de hidroelectricidad como fuente mayoritaria de generación en el Sistema Interconectado Central (SIC) nos ha conducido a una situación de colapso que deberíamos reformular en vistas a saber enfrentar situaciones futuras similares. Este acentuado tipo de crecimiento por la vía de monoproducción energética, producto de ventajas económicas comparativas respecto de métodos alternativos, en la inversión y márgenes de ganancia, regulados por un particular tipo de mercado, ha dejado al descubierto la falta de competencia frente a las crisis, así como la ausencia de compromisos

sociales tácitos, a las empresas involucradas y al Estado en los diferentes roles de pertinencia.

Por ello que, en atención a los antecedentes expuestos, así como a las experiencias vividas en el ámbito del sector energético, producto de una acentuada proliferación hidrogenadora, la diversificación de fuentes generadoras de electricidad es de un valor estratégico tal, que origina una nueva realidad que debe ser ampliamente reformulada. Sus resultados favorables redundarán no sólo en disminuir la vulnerabilidad de nuestro sector económico-social en el mediano y largo plazo, sino que además evitarán situaciones de crisis ambiental producto de contaminaciones agudas, inducidas por medidas de emergencia restauradoras o que involucran estrés ambiental, tras alterar significativamente recursos físicos, como por ejemplo el recurso suelo, ante variaciones sustanciales de los medios acuáticos, impactando a su vez las poblaciones vegetales y animales acondicionadas a estados estacionarios o a la actividad agrícola o industrial.

Si bien también, a fin de razonar la viabilidad evidente que surge de contar con materiales combustibles sólidos como petcoke, sería oportuno realizar un análisis adicional para las situaciones generadas por *actos terroristas, estados de guerra y estados de emergencia* ocasionados por los embates de la naturaleza, la evidente ventaja que significa el contar con combustibles sólidos y estables a las condiciones de exposición aéreas y acuosas, así como térmicas, solares y de riesgos de autocombustión, hace que, por razones de espacio, no sea necesario extenderme en dichos tópicos.

Análisis Estratégico del Combustible Petcoke

Si bien petcoke, como combustible sólido, presenta al igual que muchas otras variedades de combustibles ventajas comparativas interesantes, particularmente para la generación de electricidad en el SING, debemos tener en consideración las desventajas que pueden operar en su consumo, de modo que éstas no sean una amenaza para la salud de la población, ni para impactar el medio ambiente en sus recursos aire, suelo y aguas, así como flora y fauna endémicas.

En esta perspectiva, resulta interesante proyectar un análisis de planificación estratégica respecto del uso de este combustible, de modo que teniendo presente las *fortalezas* que representan su empleo, podamos tener en consideración las *oportunidades* que trae asociado al medio económico-social, particularmente de las regiones del Norte Grande del país, así como las *debilidades* y *amenazas* que representan su uso irrestricto, según se presenta en la Tabla 4.4.

Así, en el ámbito de las *fortalezas*, es preciso recalcar, como ya ha sido comentado previamente, las ventajas comparativas frente a otros combustibles líquidos y gaseosos en cuanto a su transporte y almacenamiento, dado la estabilidad fisicoquímica de este sólido, superior incluso a los carbones naturales del tipo bituminoso o antracítico, entre otros.

De la misma manera, la amplia oferta de producción mundial hoy existente en América del Norte y Sur, Europa y Asia, hacen que este producto tenga mercados estables y con variedades de diversas calidades que lo harán competitivo en función de la

Tabla 4.4
Análisis de Planificación Estratégica de Petcoke

Variables	Parámetros
1. Fortalezas	Transporte; Almacenamiento; Mercado Internacional; Fuerza Ocupacional.
2. Oportunidades	Incentivos a la disminución de costos; Diversificación de fuentes energéticas; Consumo de producción nacional de Petcoke; Incorporación de nuevas tecnologías de abatimiento; y Monitoreos ambientales de Calidad de Aire.
3. Debilidades	Controles de calidad del producto importado; y Controles de las emisiones y residuos sólidos.
4. Amenazas	Riesgos a la salud; y Manejo de residuos sólidos.

mejor oferta de precios derivados de sus calidades de producción, especificaciones y costos de oportunidad.

Finalmente, como producto que al ser transportado por vía marítima requiere de unidades portuarias de desembarco, patios de almacenamiento y tratamiento del granel sólido, previo a su pulverización como combustible de generación térmica, redundando en requerimientos necesarios de una fuerza laboral acorde con cada una de las tareas antes mencionadas, sumando a sus fortalezas, esta última como un apreciable apoyo a la fuerza de trabajo activa de las zonas productivas locales.

Por su parte, las *oportunidades* que brinda la llegada de este combustible a las generadoras

termoeléctricas del SING, envuelve un conjunto de parámetros tales como nuevos incentivos a la disminución de los costos de generación eléctrica, diversificación del tipo de combustibles y fuentes generadoras, mejor aprovechamiento de la capacidad instalada de maquinarias para el uso de diversos combustibles, apertura de un mercado de consumo para la producción de petcoke nacional, rápida incorporación de nuevas tecnologías de abatimiento de gases y particulado en las emisiones atmosféricas, así como tecnologías de manejo de residuos sólidos, y finalmente, introducción de sistemas de monitoreos ambientales de calidad de aire con incorporación de modelaciones teóricas específicas para diversos contaminantes.

En cuanto a las *debilidades* que se derivan del análisis surgen, sin lugar a dudas, la carencia de una adecuada orgánica de sistemas de control de calidad del petcoke importado, hoy no previstos en las regulaciones o permisos ambientales, así como la implementación de adecuados sistemas de control y vigilancia ambiental en materias de contaminantes gaseosos y sólidos en las emisiones atmosféricas y también, en el transporte y confinamiento tanto del petcoke mismo y de sus residuos sólidos.

Por último, en cuanto a las *amenazas*, propias de combustibles fósiles similares, ellas están claramente establecidas en la literatura y experiencia mundial. Aluden a este tipo de variable estratégica, parámetros tales como los impactos a la salud que conllevan las emisiones atmosféricas en concentraciones significativas de contaminantes expelidos al aire, lo que hace de particular cuidado la aplicación de las normativas nacionales, así como de las regulaciones

internacionales más recomendables y pertinentes de acuerdo a condiciones geofísicas similares en que se levantan las fuentes emisoras. Entre éstas cabe destacar las emisiones de gases como SO_x y particulados que incorporan materiales metálicos tales como Vanadio y Níquel, siendo este último de singular preocupación debido a sus características cancerígenas en algunas variedades biodisponibles de compuestos azufrados (sulfuros) y carbonílicos, pero que dado el proceso de combustión propio de estas calderas, tienden a quedar principalmente en las cenizas sólidas o como productos oxidados no biodisponibles.

Además, el confinamiento y manejo de los residuos sólidos es una materia que debe ser apropiadamente resuelta, de modo que la amenaza que representan estos residuos, con altos contenidos de metales pesados entre los cuales son de mayor gravitación V y Ni, no atenten contra la viabilidad ambiental del empleo del combustible petcoke.

Controles Ambientales al Petcoke

Con el objeto de precisar algunos alcances específicos respecto de la viabilidad ambiental del petcoke como combustible y ante una serie de equivocadas clasificaciones hechas por voceros ambientalistas y en determinadas ocasiones por la prensa acerca del material petcoke como un material de desecho, a continuación describo algunas características de este producto y algunas consideraciones a tener en cuenta en su apropiado empleo.

a. De la naturaleza de Petcoke como combustible

- i. El Petcoke es un producto comercial cuya materia prima es un subproducto de la

refinación del petróleo crudo.

- ii. No es un material de desecho. Su composición química es variable dentro de determinados rangos bien establecidos, ya que la materia prima de la cual deriva, el petróleo, tiene en efecto, una composición química heterogénea en términos cuantitativos.
- iii. La estructura física y las propiedades químicas del Petcoke determinan el uso final del material que puede ser empleado como combustible sólido, calcinado en la industria metalúrgica en la obtención de aluminio o acero, en la industria química, gasificado para producir vapor, electricidad o fuentes de gas para la industria petroquímica.
- iv. No obstante lo señalado en el punto i), algunas variedades de Petcoke como, por ejemplo, el denominado "Green Petcoke", empleado como combustible sólido, ha sido reconocido como un producto característico por la Sociedad Americana de Química (American Chemical Society), la que en su catálogo internacional de productos químicos (Chemical Abstract Service, CAS Registry Number), le ha asignado el registro [64741-79-3]. En tanto que al Petcoke calcinado, utilizado principalmente en la fabricación de electrodos, le ha asignado el registro CAS [64743-05-1].

b. *Del análisis químico de "Green coke"*

- a. El "*delayed o green coke*", presenta una composición mixta mayoritaria de la variedad morfológica "*sponge*" y en menor grado "*shot*".

- b. Este petcoke contiene un bajo contenido en cenizas (menor que 1%).
- c. El Green coke posee una alta composición en carbono (88%) y relativamente baja en azufre (6%).
- d. El *green coke* contiene en el nivel de trazas, en partes por millón (ppm) o mg de metal por Kg de material, diversos metales como la generalidad de los combustibles sólidos de carbón, con la particularidad que se encuentran en niveles de mayor concentración dos metales muy críticos para la salud de la población, y de ahí su máxima atención a su uso, Vanadio y Níquel en rangos aproximados de 1700 ppm y 250 ppm, respectivamente, ambos elementos del mas alto impacto toxicológico al formar determinadas especies moleculares que son biodisponibles.

Un combustible de mezcla

Respecto del empleo de Petcoke como combustible sólido, es frecuente que se emplee como combustible mezclado con carbones, sin sobrepasar un rango de 20% a 25% de petcoke en la mezcla, considerando al menos las siguientes acciones:

1. Emplear carbones de bajo contenido de azufre, de modo que las emisiones gaseosas producto de la mezcla de combustibles no superen los estándares aceptados de SO_2 .
2. Controlar la calidad y cantidad de Níquel y Vanadio en las emisiones de particulado en las cenizas volátiles.
3. Controlar la calidad y cantidad de Níquel y

Vanadio en los residuos o cenizas sólidas.

4. Controlar la calidad y cantidad de otros metales pesados, tanto en cenizas volátiles como sólidas, de acuerdo a la certificación del análisis químico del petcoke empleado.
5. Desarrollar un programa de monitoreo de la Calidad del Aire, con mapas de distribución de contaminantes gaseosos y de partículas en la zona, a lo largo del curso de un día.

Estas consideraciones conllevan, además, la experiencia de otras empresas termoeléctricas internacionales que han incorporado petcoke en la generación de energía. Por ejemplo, es interesante citar el caso de Drax Power Station, empresa inglesa de 4000 MW de producción. En 1996 solicitó a la Agencia para el Medio Ambiente de Inglaterra el uso de petcoke en mezclas con carbón. La marcha blanca de prueba se aprobó y se desarrolló entre el 14 de octubre y 8 de diciembre de 1997.

Algunas de sus conclusiones más importantes publicadas por ellos¹⁵ establecieron que:

- “Los resultados confirmaron las predicciones hechas por National Power de Inglaterra, propietaria de Drax, en el sentido que no se generarían impactos ambientales adversos al quemar mezclas de petcoke con carbón, cuando se las comparó con el rango aceptado para carbones usualmente utilizados como combustibles por Drax”.

15 *Drax Power Station Petcoke Trial Report, 30/01/1998.*

- “Níquel y Vanadio mostraron estar fuertemente ligados a las cenizas, y sus concentraciones en lechadas, a partir de cenizas producidas por el combustible mezclado, fueron comparables en magnitud con aquellas provenientes de las cenizas de carbón como línea base”.
- “Niveles de PM10 en las emisiones gaseosas disminuyeron tanto como aumentaron las concentraciones de petcoke en la mezcla”.
- “Las pruebas satisficieron el propósito original de extraer datos técnicos y medioambientales que permiten cualquier aplicación futura para la combustión comercial de hasta un 20% de petcoke en mezclas con carbón en Drax Power Station”.

A su vez, en nuestro país, la Empresa Nacional del Petrolóleo (ENAP) Bío-Bío, en Talcahuano, hace más de diez años que ha conformado una alianza con una empresa internacional para dar origen a la Planta Productora de Petcoke, Petropower. Esta planta esta ubicada dentro de su propio recinto, en la refinería, y el petcoke lo producen bajo licencia, donde mediante procesos químicos específicos obtienen un producto de alta calidad. Este Petcoke lo emplean en la producción de energía en su propia planta termoeléctrica, tanto para la energía interna de la refinería de petróleo como también para entregar los excedentes al sistema nacional de conducción de energía eléctrica, y debiera ser visto como un buen ejemplo de producción de combustible sólido.

En fin, la viabilidad del uso del petcoke en nuestra industria nacional debe estar dada en la calidad del

producto, las exigencias que se impongan a su empleo y en el control efectivo de los niveles de contaminantes que se liberan al ambiente. Pero no puede haber dudas que, siendo nuestro país altamente vulnerable en la adquisición de combustibles para producir energía, debe tener una matriz energética diversificada, debe tener controles de calidad de adquisición de petcoke adecuados y debe tener un sistema de auditoría eficiente que certifique permanentemente que las emisiones cumplen con los estándares que nuestras propias leyes van determinando sobre el particular.

Literatura Técnica Seleccionada

1. P.J. Ellis y C.A. Paul, "Tutorial: Delayed Coking Fundamentals", Great Lakes Carbon Corporation (1998).
2. R. W. Bryers, "Utilization of Petroleum Coke and Petroleum Coke/Coal Blends as a Means of Steam Raising", Coal-Blending and Switching of Low-Sulfur Western Coals, ASME 1994. Foster Wheeler Development Corporation, Livingston, New Jersey, U.S.A..

CAPÍTULO 5

PÉRDIDA DE OZONO ESTRATOSFÉRICO EN LA PRIMAVERA ANTÁRTICA ¹⁶

Desde la puesta en marcha del Protocolo de Montreal a la fecha, las mediciones satelitales de monitoreo han sido permanentes y han venido mostrando como el ozono fluctúa en el territorio antártico durante el período primaveral que se inicia en septiembre de cada año. Fundamentales han sido los informes sistemáticos entregados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), ambas de EE.UU., en donde los niveles más bajos de ozono estratosférico se han observado en la última década.

Efectivamente, la formación de ozono estratosférico obedece a una reacción química específica entre oxígeno atómico (O) y oxígeno molecular (O₂) que se produce producto de la acción de la radiación ultravioleta solar de mayor energía (UV-C) en nuestra alta atmósfera. Esta reacción de naturaleza fotoquímica se inicia con la ruptura de una molécula de oxígeno (O₂) por parte de la radiación UV-C, liberando dos átomos de oxígeno que, a su vez, uno de estos átomos puede reaccionar con otra molécula de oxígeno para dar origen a una molécula triatómica (O₃) conocida como ozono.

16 Basado en el artículo escrito por el autor para la Revista Occidente, N°413 (2011).

Sin embargo, este proceso fotoquímico tiene una segunda etapa debido a que la radiación ultravioleta de menor energía (UV-B), al incidir sobre las moléculas de ozono que se han formado, es absorbida por estas nuevas moléculas las que se rompen, reponiéndose el oxígeno molecular pre-existente. Estas reacciones de formación y destrucción de ozono, producto de la radiación solar UV-C y UV-B, fueron propuestas por primera vez por el científico inglés Sydney Chapman en 1930.

De esta manera, en la estratósfera, por sobre los 10 kilómetros de altura, este ciclo de reacciones fotoquímicas da como resultado neto un consumo significativo de la radiación ultravioleta solar, actuando este gas de ozono como un verdadero filtro de la radiación ultravioleta, que también ha sido interpretado como una eficiente pantalla protectora solar. De este modo, estas fotorreacciones van consumiendo la radiación ultravioleta de alta energía impidiendo que pueda llegar a la superficie y producir daños irreversibles a los sistemas vivos, dejando pasar tan sólo la radiación ultravioleta de más baja energía (UV-A), la cual es beneficiosa para la síntesis de vitamina D sobre la piel de nosotros, los seres humanos, y la radiación visible e infrarroja, las que contribuyen de manera significativa a nuestro sistema Tierra.

Debe tenerse en consideración que la mayor producción de ozono del planeta se da en el entorno a la línea del Ecuador, o entre los trópicos, debido a la más alta exposición a la radiación solar que ahí se observa respecto de las latitudes medias y de los polos. Con posterioridad a los estudios de Chapman, investigaciones llevadas adelante por el Premio

Nobel Paul Crutzen en Alemania a comienzos de los años setenta, permitieron evidenciar que otras especies moleculares producidas de manera natural en los océanos, continentes y biósfera, también viajan hasta la estratósfera y participan de estas reacciones fotoquímicas. Así, la producción de ozono surge como la resultante de varios procesos químicos y fotoquímicos simultáneos, pero que en definitiva, alcanzan un equilibrio con una producción lo suficientemente significativa para regular el paso de radiación ultravioleta solar UV-B hasta la superficie terrestre.

El espesor de la capa de ozono se suele usar como criterio de la concentración existente de este gas en la atmósfera. Sin embargo, dado que los gases tienen una dependencia de su concentración con la temperatura y la presión, no resulta fácil hacerse una idea de la cantidad existente cuando este se localiza en una zona tan amplia de la atmósfera, particularmente cuando este gas se forma principalmente entre los 10 y los 60 kilómetros de altura, sobre el nivel del mar.

De ahí que, en superficie o de manera satelital, se suele medir la totalidad de la columna de ozono, haciendo alusión a que este gas se distribuye a través de toda la atmósfera. La cantidad de moléculas de ozono que se registran en dicha columna, que varía de acuerdo a la latitud, se mide en unidades Dobson (U.D.), en reconocimiento al meteorólogo británico Gordon Dobson (1889).

Una unidad Dobson corresponde a la cantidad de $2,69 \cdot 10^{16}$ moléculas por centímetro cuadrado existentes en el espesor de 0,01 milímetros, a la condición de 1 atmósfera de presión y 0° Celcius de temperatura.

Esto determina que aproximadamente se encuentren en la columna atmosférica de ozono del orden de 300 U.D. o en su equivalente, un espesor promedio de 3 milímetros. Esta delgada capa, por sutil que nos parezca, resulta ser suficiente para protegernos de la radiación ultravioleta solar UV-B de nuestra estrella madre.

Sin embargo, hacia la primera mitad del siglo pasado se sintetizaron un amplio espectro de especies moleculares a base de Cloro-Fluoro-Carbonos (CFC's), que resultaron ser exitosas en diversas aplicaciones industriales, particularmente en el campo de la refrigeración y del aire acondicionado. Su masificación alcanzó niveles insospechados de producción, al ser estas especies gaseosas compatibles con la salud de las personas, sin embargo, sus pérdidas y fugas a la atmósfera, dada su gran estabilidad química en la tropósfera o parte baja de la atmósfera, mostró una gran reactividad al alcanzar la estratósfera y ser transformadas por los altos niveles de radiación solar en nuevas especies fotoquímicamente activas.

Los clorofluorocarbonos (CFC's) son un grupo de compuestos químicos derivados de los hidrocarburos saturados, con la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de flúor y cloro (Figura 5.1). Su origen es netamente artificial de producción industrial. Su transporte aéreo por expansión de los gases en nuestra propia atmósfera hasta la zona de formación del ozono estratosférico, vale decir sobre los 10 km de altura, los ha inducido a participar en nuevas reacciones que han afectado finalmente la tenue concentración de tan preciado gas, reduciéndolo en porcentajes que van desde un 3% a un 70%, según la latitud, con efectos

indeseados de aumentar la radiación ultravioleta solar UV-B en la superficie, con un efecto particular y de mayor impacto en el hemisferio sur antártico.

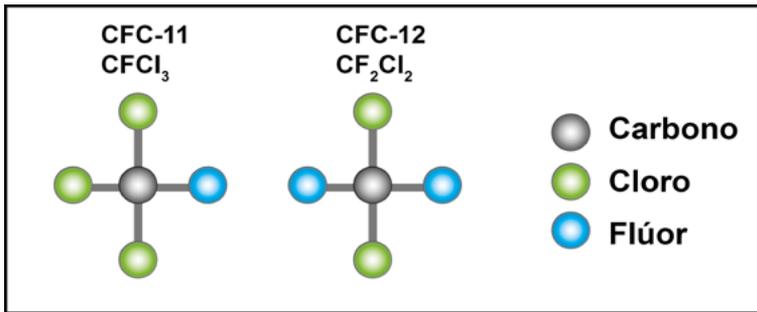


Figura 5.1. Moléculas de dos tipos de CFC's.

El Territorio Antártico

Estudios llevados adelante por los informes satelitales de la NASA y NOAA de E.E.U.U., han mostrado que es en el polo sur donde se ha establecido el mayor daño y debilitamiento de esta capa de ozono estratosférico, cubriendo ya prácticamente toda la superficie del territorio antártico y de gran parte de su contorno oceánico, que además, incorpora la zona del extremo sur de nuestro continente sudamericano, en particular Tierra del Fuego, incluyendo a las ciudades de Punta Arenas en Chile y Ushuaia en Argentina.

La zona de afectación en el polo sur ha alcanzado a un máximo de 26 millones de kilómetros cuadrados (Figura 5.2), comparable con toda la superficie del continente norteamericano (Canadá, E.E.U.U. y México).

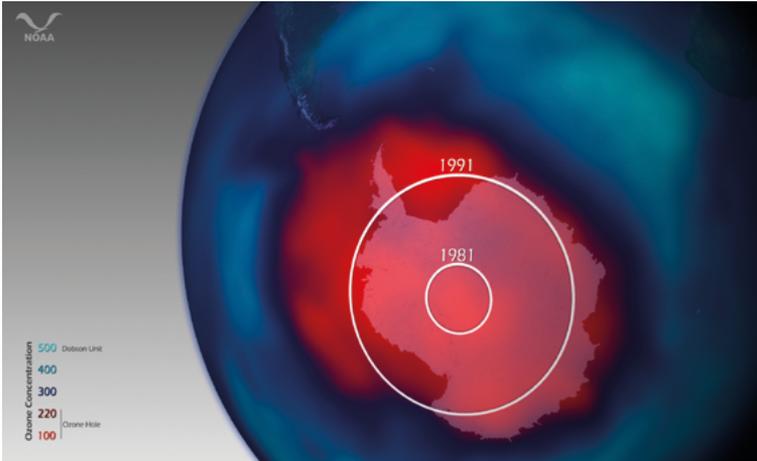


Figura 5.2. Zona superficial en donde se extiende el hoyo de ozono Antártico (en rojo). Además se indican los límites promedio cubiertos en los años 1981 y 1991. Fuente NOAA de U.S.A. 2011.

En tanto que en la Figura 5.3 se muestran dos días de la primavera Antártica del presente año 2016, donde se aprecia desde la imagen satelital cómo varía la concentración de Ozono en torno al polo sur. A su vez, en la Figura 5.4 se muestra gráficamente la variación de superficie que dicho fenómeno experimenta en los primeros meses de la primavera Antártica.

De acuerdo a los datos registrados en años anteriores, se observa que con posterioridad al mes de octubre comienza a cerrarse esta zona denominada el *hoyo de ozono* para alcanzar niveles normales hacia fines del mes de diciembre.

Estudios llevados adelante por los Premios Nobel Mario Molina y Sherwood Rowland, determinaron la fenomenología cíclica del consumo de Ozono que se observa en el invierno y verano austral. Así, las condiciones meteorológicas del entorno oceánico

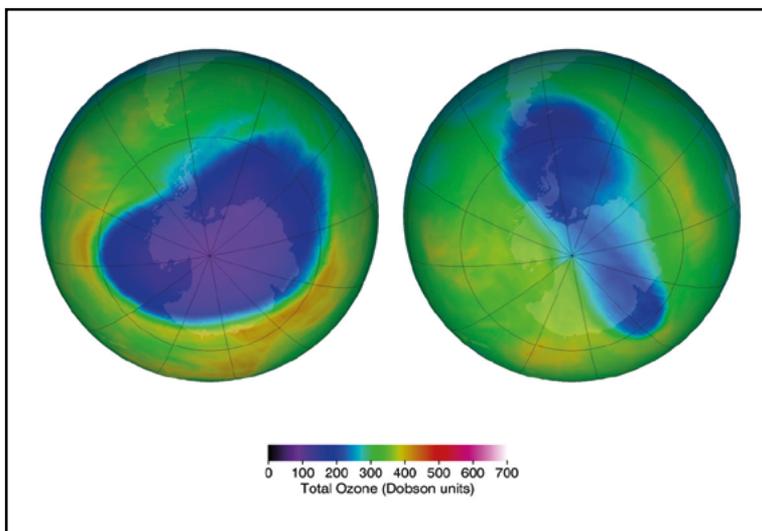


Figura 5.3. Distribución del hoyo de Ozono Antártico. Izquierda el 1 de octubre y derecha el 8 de noviembre de 2016. Fuente: NOAA, 2016.

polar, además de las particulares nubes estratosféricas de la Antártica, dieron cuenta del mayor sumidero de los gases de CFC en la estratósfera, generando de forma estacional la liberación de estos compuestos desde los reservorios nubosos acopiados en invierno al comenzar cada primavera en septiembre de cada año.

De ahí que, como se muestra en la Figura 5.5, en septiembre se inicia el descenso de la concentración de ozono, período que dura hasta diciembre, alcanzando su máximo nivel de desprotección a comienzos del mes de octubre. En particular, el año 2011 bordeó los niveles más bajos, del orden de 100 U.D., lo que representa del orden de un tercio de su espesor normal.

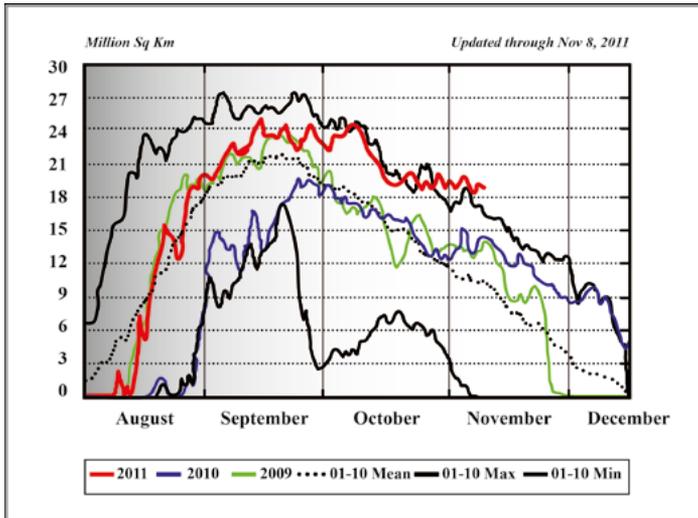


Figura 5.4. Área que cubre la zona correspondiente a la formación del hoyo de ozono antártico durante los meses de la primavera austral tanto para el año 2011 como 2010 y promedios máximos y mínimos históricos para el rango de 2001 al 2010. En unidades de millones de kilómetros cuadrados.

Fuente NOAA de U.S.A. 2011.

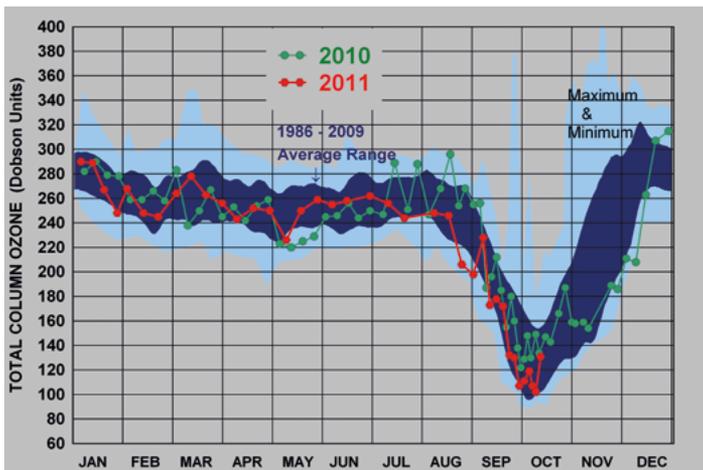


Figura 5.5. Columna de Ozono en el continente antártico, en unidades Dobson. Fuente NOAA de U.S.A. 2011.

Zona Central de Chile

Debido a la gravedad que este fenómeno de disminución de la protección de la capa de ozono trae para los ecosistemas acuáticos y terrestres, y dado los incrementos de radiación ultravioleta solar en nuestro territorio, particularmente en los sectores aledaños al círculo polar antártico, nos llevaron a realizar una investigación de las variaciones de concentración de ozono estratosférico que se experimenta en el mismo período de primavera-verano en la zona central de Chile, mediante el empleo de globos sonda con registros de variables meteorológicas y medición de ozono con la altura (Figura 5.6). Este proyecto fue un esfuerzo conjunto que se realizó entre el Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Chile, el Centro Nacional del Medio Ambiente y el Ministerio del Medio Ambiente.

Los registros realizados mensualmente del perfil de la concentración de ozono con la altura para el período 2010-2014 nos permitieron observar como este gas se concentra a diferentes alturas, durante el ciclo de un año. En la Figura 5.7. se observa un patrón tipo de comportamiento de la concentración de ozono con la altura.

Nuestras mediciones dejaron de manifiesto que en los meses de noviembre, diciembre y enero se produce un empobrecimiento de ozono en nuestro espacio estratosférico. Este fenómeno que fue avistado por primera vez en Australia, y que se denominó “efecto de dilución por migración de masas de aire ricas en ozono hacia la zona polar”, se repite en nuestra zona continental, dejándola expuesta a mayores dosis de



Figura 5.6. Lanzamiento de un Globo Sonda de medición de Ozono en la Plaza de la Ciudadanía. En la fotografía aparecen investigadores del Centro Nacional del Medio Ambiente, la Ministra del Medio Ambiente y el autor del artículo junto a directivos del CENMA (Diciembre de 2010).

radiación ultravioleta solar a nivel de la superficie, situación que se ha acrecentado en relación con años pasados.

Esta nueva condición atmosférica que esta experimentando nuestro territorio nacional, especialmente a nivel de latitudes medias (Chile Central), nos mueve a recomendar medidas preventivas a la población, a fin de que, ante la mayor incidencia de radiación solar, particularmente al comenzar nuestro período veraniego, no se expongan innecesariamente ya sea por fines recreacionales o actividad laboral al aire libre.

De ahí la importancia en la adopción de nuevas conductas, particularmente por quienes trabajan en el campo, como temporeros, o en el borde costero, como pescadores, así como quienes se exponen al sol en

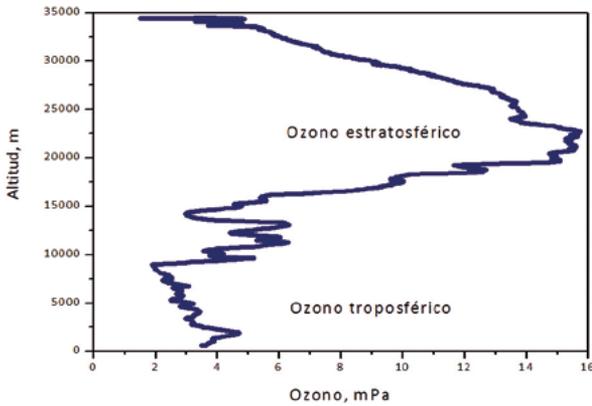


Figura 5.7. Perfil típico de la variación de la concentración de ozono con la altura en la ciudad de Santiago, región Metropolitana.

busca del descanso y de un supuesto embellecimiento saludable. Es por ello que debemos ser enfáticos en cuanto a que la exposición excesiva y prolongada al sol es dañina y peligrosa, y en caso de prolongarse sin mayores cuidados, esto puede ser delicado para la salud futura de las personas. Especialmente a quienes gustan del bronceado, deberán saber que tiene riesgos implícitos, en donde se paga un alto costo de salud el día de mañana. Efectivamente, el debilitamiento de la capa de ozono hace que los rayos del sol afecten más directamente a la piel y los ojos, sobre todo en los días altamente luminosos. El cáncer a la piel es la principal amenaza si no se toman las medidas adecuadas en estos meses veraniegos.

Un dato que debe ser considerado es la calidad de la reflexión solar o efecto espejo, puesto que la exposición no solamente es un efecto de la acción directa del sol, sino que también de la reflexión que se produce por diferentes tipos de superficies, no

dando lo mismo el lugar donde uno esté. Así, en el pasto la radiación se refleja en un 5%, en el agua 10%, en la arena 15% y la nieve 85%. Por tanto, resulta aconsejable evitar exponerse entre las 11 y las 16 horas, además de obligarse a usar lentes que protejan de la radiación ultravioleta. Otros tipos de vestuarios livianos deben contemplar el cubrirse gran parte del cuerpo y usar sombreros, también los quitasoles y sombrillas pasan a ser complementos necesarios en esta temporada y si insiste en dormir en la playa, evite quedar expuesto al sol.

También es recomendable el uso de bloqueadores solares, aun cuando su efectividad es limitada y sólo por un par de horas. Menos aún si tras protegerse con estos protectores de crema se introduce al agua en las piscinas o el mar, la durabilidad se reduce drásticamente. En el caso de los niños se hace perentorio el uso de estos protectores, los cuales deben emplearse a lo menos un par de horas antes de la exposición, y en lo posible, evitar que queden expuestos al sol de manera directa.

Debemos considerar que más del 90% de la exposición solar de toda una vida la habrá tomado durante su infancia y adolescencia, y con ello, habrá trazado gran parte del destino de la enfermedad más cruel de la piel a futuro, puesto que la radiación solar tiene un efecto de acumulación y a mayor exposición, mayor riesgo.

CAPÍTULO 6

CALENTAMIENTO GLOBAL: POR LA RUTA DE LA ENERGÍA Y DE LAS EMISIONES GASEOSAS

Los nuevos síntomas

¿Cuales son los síntomas que hoy apreciamos respecto del Calentamiento Global? Sin duda que nuestra mirada se debería tornar inmediatamente hacia los confines más limítrofes de nuestro territorio, lugares como la zona norte, zona cordillerana media y alta y hacia la parte más austral del país, en donde deberíamos buscar las primeras señales al respecto, producto de las vulnerabilidades que estas regiones geográficas pueden experimentar con los nuevos cambios planetarios.

Por eso no es dable extrañar que volquemos nuestra mirada a lo que hoy día conforma uno de nuestros parques nacionales más hermosos, y también declarado reserva del planeta, como lo es el Parque Nacional Torres del Paine (Figura 6.1). Este lugar, ubicado en el sector sur-oriente de Campo de Hielo Sur, se nos presenta como un parque que gradualmente se va separando de la gran masa de hielo, producto del recogimiento que ésta experimenta año a año y el impacto que están experimentando sus glaciares más periféricos. De modo que, a poco andar, estaremos frente a una zona de transición que poco o nada tendrá de relación con este originario campo de hielo, o habitat frío.



Figura 6.1. Vista panorámica de las Torres del Paine en Campo de Hielo Sur en el mes de octubre. Foto del autor.

Otros fenómenos asociados a esta sintomatología geográfica, corresponde a los vaciamientos de lagos que hemos observado en los últimos años en zonas de glaciares de Campo de Hielo Norte, en la región de Aysén, como también, los asociados a Campo de Hielo Sur en la región de Magallanes. Efectivamente nos debe llamar la atención con lo que ha ocurrido con los lagos Cachet por el norte, represado por el Glaciar Colonia, y el lago Témpanos, que se ubican entre los Glaciares Bernardo y Témpanos, por el Sur. Vaciamientos que en el primero de ellos, vienen ocurriendo desde el año 2008, con diecinueve hasta comienzos del año 2016. Investigaciones recientes han permitido observar que estos vaciamientos ocurren en muy pocas horas a través de túneles de casi ocho kilómetros bajo el Glaciar Colonia, para terminar transfiriendo más de 200 millones de metros cúbicos de agua al río

Baker, con los consiguientes problemas de impacto ambiental en las riveras y entornos de este río.

Por su parte, el segundo caso, correspondiente al Lago Témpanos, ya en mayo de 2007, se escurrió por un costado del mismo Glaciar hacia el mar. Ambos casos muestran una nueva faceta de la fragilidad de estos ecosistemas, que dada su conformación territorial, forman verdaderas barreras naturales a la contención de estos lagos endorreicos, los cuales por efectos térmicos pueden agrietarse y generar estas pérdidas de agua dulce.

Situación similar se observa en el retraimiento de glaciares en esta misma región de Campos de Hielo Sur, donde la aparición de grandes lagunas están dando paso a una nueva morfología geográfica, como se puede apreciar en la fotografía de la Figura 6.2, con el Glaciar Grey. También, en Campos de Hielo Norte es conocido el caso de uno de los lugares más turísticos de la zona como lo es el Glaciar de San Rafael un caso idéntico, donde una estabilidad de más de cinco mil años se interrumpe y vemos como actualmente retrocede a razón de 17 metros por año, que a la fecha, ya suma más de un kilómetro de recorrido en extensión lineal.

Sin duda que los casos más dramáticos los encontraremos en la Antártica, que a modo de ilustración, solamente en el sector de la Península Antártica que se proyecta hacia nuestro continente, se han producido pérdidas por más de cinco mil kilómetros cuadrados de territorio que se han vertido al mar. En estos casos, observamos como grandes plataformas de hielo costero han experimentado procesos de fractura que se intensifican con la presencia



Figura 6.2. Vista panorámica del Lago Grey. Foto del autor.

de mayor cantidad de agua de fusión de nieve-hielo en su superficie, lo que ha dado origen a que plataformas con una altura del orden de doscientos metros por sobre el nivel del mar se incorporen en lapsus de tiempos muy cortos a la masa acuática oceánica.

Así, entre las pérdidas más importantes, podemos contar los casos de las plataformas de hielo Larsen A que, entre los meses de verano de 1994 y 1995, se desprendieron del orden de 1.600 km^2 , en tanto que de la plataforma Larsen B (año 2002) fueron 3.235 km^2 .

Estos fenómenos antárticos traen asociado una serie de impactos ambientales entre los que podemos destacar los cambios de salinidad oceánica, la pérdida de biodiversidad, disminución de la cobertura de nieve, aumento de lluvias y pérdida de reflexión solar, en donde esta última se incorpora energéticamente al

océano, incrementando la retención de calor y, por consiguiente, aumentando las temperaturas locales.

Informes y Proyecciones futuras

Recientemente el *International Panel for Climatic Change* (IPCC), agrupación mundial de científicos preocupados del estudio de los impactos que trae asociado el Cambio Climático, recibieron el Premio Nobel de la Paz 2008, conjuntamente con el ex-vicepresidente de EEUU, Albert Gore, por sus contribuciones tendientes a entender y hacer conciencia de lo que representa para el planeta y sus generaciones futuras los impactos de este trascendental fenómeno global, destacándose la importancia de los estudios que se están llevando a cabo en esta materia.

Por otra parte, proyecciones sobre la base de estudios estadísticos de la pluviometría mundial que abarcan hasta un siglo de tiempo, comienzan a mostrarnos zonas del planeta en donde se están dando los predominios de excesos de lluvias o de sequías, como parte de esta fenomenología planetaria. En particular, estudios prospectivos, basados en la modelación a partir de estas inferencias estadísticas, se han proyectado a nuestro país en una escala geográfica local mediante trabajos desarrollados por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Estos estudios han permitido apreciar que sobre la base de la instalación de una zona de sequía a lo largo de nuestro territorio, particularmente desde el norte hasta aproximadamente la décima región, la disminución de masa de hielo y nieve en la alta cordillera, durante las próximas décadas, podría tener efectos devastadores en la disminución del caudal y por consiguiente su aprovechamiento para consumo

de agua potable y riego para la mayoría de nuestras ciudades y sus zonas rurales aledañas.

Esto nos lleva a proponer una política pública estratégica y que compromete nuestra seguridad nacional, toda vez que el agua se transformaría en un bien escaso y, por consiguiente, deberíamos resueltamente enfrentar la puesta en marcha de inversiones de Estado en la construcción y generación de embalses que permitan acopiar este recurso mineral a nivel de la alta cordillera, que cada vez se pondrá más escaso para el consumo humano, particularmente en los períodos de verano y otoño.

Debe llamarnos la atención y la preocupación gubernamental con lo que ya ocurre en el Norte Grande de nuestro país, en donde, las principales fuentes y reservorios de agua como los salares, están experimentando enormes pérdidas de su recurso acuático, tanto por las mismas condiciones extremas incrementadas por este calentamiento global planetario, como también, por el alto consumo de agua que la actividad minera demanda de estas fuentes naturales de aguas continentales (Figura 6.3).

Si bien, esto está comenzando a impactar los frágiles ecosistemas de estas regiones, se suma a la gravedad ecológica la necesidad que tienen los pueblos originarios y etnias dominantes de mantener esos frágiles ecosistemas acuáticos en esos parajes que les son únicos y propios para poder continuar viviendo en esas condiciones tan apartadas de la vida urbana.

Por más de una década, pueblos como Toconao (Figura 6.4) vienen silenciosamente protestando y enarbolando banderas negras como un grito silencioso



Figura 6.3. Vista panorámica del salar de Atacama. Foto del autor.

ante el mundo por el daño que se les está causando producto de una gradual y sistemática pérdida de caudales de agua en sus ecosistemas naturales. ¿No debería a caso definirse la prioridad del uso de agua para la mantención de tales ecosistemas y el consumo humano vital, definiendo políticas alternativas del uso de agua marina y no lacustres para la actividad industrial y minera?

Pareciera que todo estos fenómenos surgen de la pérdida de una sabiduría ancestral con que hemos intervenido nuestros ecosistemas, lo que nos ha llevado a estas situaciones límites, en donde el apropiado equilibrio del Aire, Agua, Tierra y Energía (Fuego) que nos legaran las enseñanzas esotéricas desde tiempos tan remotos, hoy día con más conocimiento que antes, no hemos sido capaces de procesar apropiadamente. Ha pasado el tiempo y el Fuego hoy lo representamos



Figura 6.4. Vistas del pueblo de Toconao. Fotos del autor.

por la Energía y la Tierra por el Suelo, pero en síntesis, sin haber hecho una transformación conceptual muy distinta, seguimos alterando la misma esencia de estos elementos naturales que forman la base de la dinámica de nuestros ecosistemas en el planeta.

Las megaciudades, su energía y sus gases

En primer lugar, en una rápida retrospectiva histórica de un recorrido planetario, podemos apreciar de como la población mundial ha sido y sigue siendo un aspecto fundamental, a la hora de comprender el origen del Calentamiento Global. Efectivamente podemos apreciar que, desde lo que nos simbolizan las ruinas de *Stonehenge*, como primeros asentamientos humanos en nuestra escala evolutiva y cultural, pasando por el reordenamiento urbano de las primitivas ciudades tras el asentamiento de la agricultura, hasta las formas de organización que nos trajo a occidente la vida medieval, para continuar con la reorganización urbana industrial y post industrial, el tema de la ciudad, su población, energía, materiales

y residuos de todo orden, han marcado el rumbo de nuestra actual crisis.

Hoy día podemos simbolizar en los más grandes conglomerados urbanos del planeta lo que representan las Mega-ciudades en su impacto sobre el medio natural, en donde ejemplos como New York, con su Manhattan incluido, o Tokio, con sus audaces arquitecturas y formas de densificar la vida cotidiana, tanto en sus centros urbanos como en sus localidades periféricas o conurbaciones, emergen con poblaciones que superan los 20 millones de habitantes. Ambas ciudades pueden ser apreciadas como dos grandes hitos del actual estadio de nuestra humanidad, que nos permiten iniciar un análisis de cómo se ha ido produciendo esta evolución de la población urbana que se asienta en mega ciudades a través de todo el planeta.

Por consiguiente, al observar en el mapamundi como estos centros urbanos se distribuyen en los continentes, vemos como las tendencias de concentración de estas nuevas megaciudades en los últimos cincuenta años se traslada desde occidente a oriente, particularmente en la cuenca del Pacífico Asiático. Así, desde esta perspectiva, podemos apreciar el enorme impacto que traen consigo la conformación de estos nuevos ecosistemas urbanos, en que cada uno de ellos sobrepasan la decena de millones de habitantes, y que existiendo hacia mediados del siglo pasado no más de unas diez de estas megaciudades, hoy día ya se alcanzan poco más de cuarenta y en una proyección a sólo quince años, se esperan del orden de un centenar de estos centros altamente poblados, particularmente en el continente asiático con China e India a la cabeza.

En este contexto, las Olimpiadas 2008 nos acercaron en una mirada más estrecha a este nuevo polo de desarrollo urbano mundial, con un increíble Beijing junto a una serie de otras megaciudades que comienzan a despertar a un gigante de nuestra época y que da cuenta de la gran cantidad de *commodities* que requieren para sus crecientes demandas. De ello, Chile se ha visto fuertemente favorecido en sus requerimientos por la minería, celulosa y alimentos, como también de otras áreas de la economía, además de que podrán proyectarse nuevos tratados comerciales que se impongan para tal demanda.

Pero pensar en que se sostienen hoy tan inmensas urbes, pasa necesariamente por detenemos a apreciar el rol que la energía juega en todo ello. Bastaría observar una fotografía nocturna satelital para vislumbrar con absoluta claridad de cómo se nos configura toda la masa continental y su distribución poblacional por los puntos luminosos que surgen de tan sólo la actividad nocturna. Y es que en el mundo de hoy como en el de ayer, la energía cobra su rol predominante desde la arquitectura a escala local o humana, a otra que bien podríamos definir de gran escala o multitudinaria del tipo megahumana. Y no resulta menos cierto que al recabar la intensidad luminosa que se desprende de una mirada nocturna sobre la superficie continental, a mayor desarrollo, mayor es la luminosidad alcanzada.

Efectivamente, la energía es la base de todo desarrollo, de ahí que la producción energética desde la combustión de la primitiva biomasa pasando por el carbón y el uso posterior del petróleo y sus derivados, han conducido a una permanente formación y emisión de gases tóxicos a la atmósfera, gases preferentemente

a base de NO_x, SO_x y CO, además de CO₂, los cuales se han visto reforzados con la producción hidroeléctrica, que hasta hace poco se consideraba más amigable con el medio ambiente, pero que recientemente se ha demostrado que contribuyen fuertemente a las emisiones de CH₄, además de generar enormes impactos en los ecosistemas acuáticos y terrestres. Sólo en un rubro que año a año ha ido en aumento como la aviación, las emisiones contaminantes de este medio de transporte se han elevado por sobre el 100% en la última década.

Si a todo esto sumamos las fuentes de energía eléctrica producidas por reactores nucleares, más las fuentes naturales de energías no convencionales, el amplio consumo de éstas fuentes energéticas nos conducen siempre a un mismo punto: la gran ciudad. Aquí subyacen los grandes focos sumideros de energía en todas sus formas. Bien podríamos asemejar estas ciudades a los “*black holes*” descritos por el astrofísico en la existencia del cosmos. Pero toda energía deja sus huellas, puesto que no está carente de residuos los que más temprano que tarde se incorporan al medio ambiente, tanto local como regional o planetario, en donde los gases invernadero comienzan a ser uno de los principales productos del remanente que acompaña la vida urbana.

Así, en esta perspectiva de concentración y crecimiento poblacional urbano, la evolución de nuestro planeta ha estado marcada por una cultura antropogénica de “*destrucción de ecosistemas naturales en reemplazo de una construcción de ecosistemas urbanos*”.

La ruta a seguir

Pero, ¿qué sucede si proyectamos en forma paralela al crecimiento poblacional de los últimos mil años el aumento de la concentración de gases invernaderos, estos últimos como referentes del aporte residual de tal desarrollo urbano? Es posible concluir que ambas tendencias muestran un crecimiento exponencial, siendo sin duda, la emisión de gases a la atmósfera, una resultante propia de la presencia humana en este gran ecosistema llamado Tierra. Si buscamos, por tanto, relacionar estos dos parámetros mediante una ecuación matemática sencilla, probablemente no encontraremos un modelo físico simple que interprete esta compleja situación planetaria, que sin duda está asociada a comportamientos no-lineales, con potenciales puntos de acumulación que no permitan seguir la tendencia funcional creciente, dado las saturaciones que habrían de ocurrir en diferentes zonas que configuran el sistema atmosférico y que, en particular, nuestro país se caracteriza por tener la más variada y extensa distribución de cuencas atmosféricas.

No obstante la ausencia de un modelo físico-matemático que nos permita describir la complejidad del sistema, los impactos de este proceso de instalación de nuestra especie en el planeta ha llevado asociado consigo efectos destructivos incrementales que, tras unas pocas décadas han contribuido a una crisis producto principalmente de emisiones y residuos, como también, se han sumado a estos efectos destructivos otros de naturaleza decremental, en cuanto a lo que representa el agotamiento de determinados recursos, bienes, energía, etc. De modo que, el tema del Calentamiento Global no es

una situación ambiental aislada de lo que nos está ocurriendo a escala planetaria, sino que forma parte del proceso en el cual nosotros seguimos creciendo como población mundial. Por consiguiente, pensar que el Cambio Climático asociado a este Calentamiento Global es un tema que lo podemos abordar sólo desde recintos de estudio o que basta con convocar a los altos mandos en niveles internacionales de la máxima diplomacia mundial, es subestimar la compleja realidad del problema en que hoy la humanidad se debate.

A donde quiero llegar con esta reflexión es, a que efectivamente deseo plantear de que hoy día, si bien la ciencia tiene las herramientas para poder abordar una serie de problemas que están asociados con nuestro entorno natural, no nos permite abordar sistemas complejos con el mismo enfoque metodológico tradicional científico, como lo es el Cambio Climático.

Por eso es que una ciencia reduccionista, vale decir una ciencia que puede ser capaz de simplificar los problemas al determinar parámetros que pueden correlacionarse, que pueden predecir y que pueden finalmente proyectar soluciones, como ha sido el camino de la ciencia tradicional, no se ajusta a la caracterización de problemas que requieren una visión histórica del problema y que a su vez, el control de las variables esta sujeto al desarrollo de nuestra cultura y escala de valores. Así, estamos enfrentados a problemas cuyas herramientas para enfrentar su solución, la ciencia no nos puede hoy proporcionar en oda su amplitud.

Por ello que estamos convocados a comprender un problema de alta complejidad, en donde esta

complejidad está asociada a la indeterminación de los parámetros que entre sí se relacionan y está indeterminado por las condiciones de borde fluctuantes, las que se acentúan con la heterogeneidad formativa y de intereses de quienes tienen que involucrarse en la toma de decisiones.

Por eso es que cuando hablamos de impactos globales, de escala planetaria, como lo es el tema del Cambio Climático, tal vez desde el punto de vista científico podemos abordar aspectos específicos, como por ejemplo, el Calentamiento Global, y podemos hablar con propiedad científica de cómo se está generando este calentamiento global. De modo que, podemos medirlo y recabar datos numéricos, datos duros respecto de determinados parámetros que están asociados al calentamiento atmosférico. Y por otro lado, a través de los estudios de química, a través de la experimentación en el laboratorio, podemos caracterizar las sustancias químicas atmosféricas participantes de este fenómeno, de modo que podemos saber cuánta capacidad de calor pueden absorber, cómo pueden apantallar este calor que tiene que salir al espacio por emisión desde los suelos y la atmósfera, a fin de no quedar retenido en nuestra esfera planetaria.

Podemos entonces caracterizar las distintas especies químicas, a través de su reactividad, sus tiempos de vida en la atmósfera, a través de su capacidad en último grado de ir desapareciendo en la medida en que las vamos generando. Sin embargo, a pesar de todo esto que puede formar parte del bagaje científico, aún no nos permite abordar con propiedad lo que son estos cambios complejos, asociados a

sistemas como el Clima y su fenómeno definido como Cambio Climático.

Hoy sabemos la composición de la atmósfera, sus gases contaminantes y los niveles de saturación. Es más, 110 años atrás, el Premio Nobel Svante Arrhenius ya había determinado que el calentamiento global podría ser controlado sobre la base de aumentar la combustión para incrementar las emisiones de CO₂. Este investigador sueco ya había pronosticado que podríamos tener inviernos más benignos en su Suecia natal y mejorar la producción de las cosechas al aumentar los niveles de la temperatura de la atmósfera.

Así lo publicaba bajo el título de "*On the Influence of Carbonic Acid in the air upon temperature of the ground*", en el *PHILOSOPHICAL MAGAZINE*, 41, 237-276 (1896). Su anticipación a lo que un siglo más tarde haría famoso a Albert Gore concientizando acerca de los impactos del exceso de calor en el planeta, no contaron con el significativo crecimiento que experimentaría la población de la época de Arrhenius con casi 1.000 millones de habitantes hasta nuestros días por sobre los 6.000 millones.

De modo que, sobre calentamiento global, conocemos lo suficiente para saber que con los gases que hemos emitido a la atmósfera, su correspondiente incremento térmico puede disparar distintos fenómenos que están asociados a un cambio climático. Cambio climático que por lo demás tiene su propia dinámica e interacción de factores ambientales, a pesar de los procesos climáticos evolutivos y cíclicos que ha vivido nuestro planeta, los que de por sí han sido enormes y probablemente hoy día estemos

aún en un punto más bajo de lo que han sido otras situaciones emergentes en el pasado. Por lo tanto, el tema del cambio climático *per sé* puede que no tenga mayor interés o valor, sino está asociado efectivamente a cómo nosotros y nuestros ecosistemas pueden efectivamente verse alterados por dicho cambio climático.

Tal vez, ya hayamos atravesado el umbral de los fenómenos irreversibles, o quizás, nos encontremos aún en los límites de un retorno a un medio ambiente que nos sea favorable, el problema es como enfrentamos este desafío cuyos alcances nos son desconocidos y cuyas estrategias de control son aún inciertas, dentro de lo factible de acomodar nuestra cultura al ahorro energético, al cambio de las fuentes de energía tradicionales y a comprender que el fenómeno atmosférico no puede ser compartimentalizado a un tipo de problema tan sólo. Recordemos que veinte años atrás lo fue la destrucción de la capa de ozono y sus estragos aún siguen vigente a pesar de los sistemas de control y cambios tecnológicos introducidos. Hoy sin estar este impacto planetario resuelto del todo se nos suma en el mismo ámbito el calentamiento global producto de los gases de invernadero, donde el CO₂ es el principal componente, pero que no podemos desconocer que también otros gases como metano (CH₄), los CFCs (clorofluorocarbonos) y sus especies de reemplazo (HFCs), como otros de uso industrial o agrícola, también se suman al mismo fenómeno.

El problema persiste a pesar de nuestros esfuerzos

Por eso que, poder reconocer el problema, como primera medida, y segundo, iniciar un proceso de

búsqueda social conjunta de soluciones, que por la complejidad del mismo no tiene soluciones únicas, ni tiene soluciones totales, nos debe conducir a alcanzar un pacto social que hoy día sabemos, nos supera, fundamentalmente por factores culturales y de poder económico.

Entonces, creo que si no nos enfocamos en poder comprender que esto va asociado a un cambio cultural, el cuál tiene que hacerse desde la base educacional, no tenemos ninguna posibilidad de soñar que en 100 años más los escenarios múltiples de superar la crisis que ha proyectado el IPCC, como panel intergubernamental, se van a poder cumplir. Tal vez, ni siquiera sabemos si el peor de los escenarios se va a adelantar en función de cómo evolucione este crecimiento poblacional versus el crecimiento de diferentes otros fenómenos ambientales como los que disparan los gases invernaderos. Los sistemas complejos no tienen respuesta clara de lo que puede suceder en el corto o en el mediano plazo, por lo tanto, si no hay un pacto social planetario, en donde podamos ir enfrentando de conjunto lo que significa vivir bajo las condiciones actuales y la modificación de la condiciones existentes, no podremos imaginar que vamos a tener un medio ambiente como el que hoy día existe o como el que existió hace algunos años atrás.

Sin duda, el medio ambiente va a seguir afectándose en la medida en que mantengamos la población actual en curso y nuestra actual cultura energética. Por lo tanto tenemos que saber cuánto queremos modificar de nuestras asentadas costumbres, cómo podemos seguir manteniendo esta relación de energía-gases y planeta-habitación y, por lo tanto, buscar salidas

urgentes que den solución a las amenazas que de distintos modelos de escala proyectan los expertos.

Al finalizar, no puedo dejar de enfatizar que hoy día sabemos que la atmósfera es un medio continuo, diverso y acotado, adecuado para, en la naturaleza de su propia constitución, dejar fluir el clima y sus cambios.

CAPÍTULO 7

EL MENSAJE DE LOS COMETAS ¹⁷

¿Qué importancia les podemos adscribir a los cometas? Hoy día las nuevas tecnologías espaciales nos han permitido adentrarnos en los secretos de estos verdaderos atadores de producción de material químico para la vida. Sus ciclos alrededor de la estrella solar plantean efectivas dinámicas para que reacciones químicas dependientes de la temperatura, radiación y fotoquímica tengan lugar como en ninguna otra parte del cosmos.

Efectivamente los cometas son tan antiguos que se remontan al inicio de nuestra estrella solar, hace unos 4.500 millones de años atrás (Figura 7.1). Desde lo que se conoce como el término del bombardeo terrestre por cometas y asteroides 3.900 millones de años atrás, periodo que se extendió por aproximadamente 400 millones de años, la vida comenzó a proliferar de una manera inusitada, a tal punto que los fósiles más antiguos que conocemos datan de unos 3.500 millones de años a la fecha. Estos hitos históricos geológicos nos vienen a mostrar que, efectivamente, el tiempo transcurrido entre el término de ese bombardeo cometario y el período de datación de los fósiles primigenios, ha sido un lapso muy corto para haberse iniciado todo un proceso de primeras reacciones en la sopa primordial que habrían dado paso a la organización vital de sistemas moleculares complejos en nuestro planeta.

17 Basado en el artículo escrito por el autor para la Revista Occidente, N°409 (2011).



Figura 7.1. El cometa Halley. Fuente: [http:// www.astronomia.com](http://www.astronomia.com)

De ahí que, las propuestas científicas de salir a buscar sistemas vivos fuera de nuestro planeta, tienen el asidero de que se contaría con más tiempo para su incubación y desarrollo, de modo que habría sido esta vida traída desde el espacio exterior o bien sus primeras y complejas moléculas orgánicas ya habrían estado determinadas en procesos acaecidos en verdaderos reactores químicos de origen cósmico, que finalmente se habrían introducido a nuestro planeta mediante el traslado por cometas, como sistemas más complejos que los propios asteroides.

Esta idea de *panspermia*, ya aventurada por Anaxágoras en el siglo V A.C., toma fuerza con los planteamientos de Svante Arrhenius, científico sueco y primer Premio Nobel de Química, a comienzos de 1900, para posteriormente ir fortaleciéndose como hipótesis con nuevas miradas y antecedentes planteados por nuevos promotores como el astrofísico inglés Fred Hoyle, quién hacia 1978, en su libro

Astrochemistry, Organic Molecules and the Origen of Life, expone la factibilidad de que la vida sea transportada por cometas.

Estas atrevidas propuestas adquieren mayor fuerza con los posteriores reconocimientos de las primeras moléculas orgánicas detectadas en nebulosas y diferentes regiones estelares de nuestra galaxia en las últimas tres décadas. Sin duda que, en la detección de estas especies moleculares de origen cósmico, han sido relevantes las tradicionales instalaciones telescópicas. Sin embargo, en la actualidad emergen con un potencial extraordinario las recientes tecnologías y los consorcios universitarios y científicos internacionales que han derivado en nuevas instalaciones telescópicas satelitales como el Hubble o como los radiotelescopios más grandes del mundo, junto al nuevo desarrollo de sofisticadas técnicas espectroscópicas mediante interferometría en el rango espectral de ondas electromagnéticas de baja energía (milimétricas), producto de los esfuerzos multinacionales llevados a cabo por el Proyecto VLA en Socorro, Nuevo México (E.E.U.U.) y el Proyecto ALMA en Chajnantor, San Pedro de Atacama, Chile, el primero con 27 y el segundo con 64 antenas parabólicas (Figura 7.2).

Química en los cometas

Ha sido mediante el análisis de la radiación electromagnética que emiten y absorben los elementos atómicos y las especies moleculares al interactuar con la luz o radiación solar, que los cometas han ido dejando al descubierto su estructura física y la composición de su variedad químico-molecular. Hoy es bien conocido que estos cometas se constituyen de abundante agua, principalmente hielo, anhídrido



Figura 7.2. Foto superior: Telescopios VLA, Socorro, Nuevo México, E.E.U.U. (Fuente: NRAO, U.S.A.; <http://www.nrao.edu>).

Foto inferior: Telescopios ALMA, Chajnantor, San Pedro de Atacama, Chile (Fuente: <http://www.almaobservatory.org/es/visuales/imagenes/antenas-y-transportadores>).

carbónico sólido, otros componentes de naturaleza mineral y compuestos orgánicos basados en carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno.

Con esta somera descripción es evidente que estamos identificando los elementos atómicos más abundantes en el universo, de ahí que poco debiera extrañarnos la presencia en estos verdaderos viajeros

galácticos. Así, primero y por lejos, vemos la presencia de hidrógeno que, a diferencia de helio, un gas noble, es altamente reactivo y químicamente se integra en la formación de diversos complejos moleculares que, en su correspondiente abundancia, el oxígeno, formarían agua como la molécula heteronuclear más abundante del universo.

Sin embargo, han sido las concepciones teóricas y nuevas modelaciones computacionales que han planteado la capacidad que tendrían estos cometas de actuar como verdaderos reactores químicos, los que en sus viajes de acercamiento y alejamiento de su estrella madre, podrían variar las condiciones térmicas haciendo que parte del agua que los constituye alcanzara su estado líquido, tal vez el estado menos predominante del cosmos a la hora de compararse con el agua sólida (hielo) y agua gaseosa (vapor), esencial para el desarrollo de la vida.

Este medio, sin duda, favorecería la generación de especies complejas a partir de las que hoy día se evidencian principalmente por análisis de emisiones espectroscópicas como hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, glicolaldehído (una variedad de azúcar), glicoletileno y ácido acético, entre otras especies orgánicas, a las que se sumarían otras de tipo inorgánico como silicatos, arcillas, carbonatos, sulfatos de hierro y moléculas del tipo amoníaco, monóxido y dióxido de carbono, ácido cianhídrico, etc., sólo por mencionar algunas que conforman la gran diversidad de especies detectadas a la fecha¹⁸.

18 Sandford, S.A. "Terrestrial Analysis of the Organic Component of Comet Dust", *Ann. Rev. Anal. Chem.*, **1**, 54 (2008).

También se ha planteado que en el núcleo del cometa la energía térmica procedente de una generación radiactiva también permitiría mantener agua en estado líquido, cuando este se encuentra lejos de la estrella que lo aprovisiona exteriormente de dicha energía, en donde la especie isotópica de aluminio-26, con un tiempo de vida media de 0.7 millones de años, aseguraría una fuente generadora de calor suficiente para mantener por largos períodos de tiempo estos complejos procesos químicos en medios acuosos.

Estudios recientes, desarrollados a partir de la modelación de impactos entre materiales a altas velocidades, evidencian la potencialidad de síntesis química que ondas de choque pueden inducir sobre el material constituyente, lo que ha permitido proyectar dichos efectos a los impactos que generaría un cometa al precipitarse sobre un planeta como el nuestro. En particular, un equipo de investigadores de California, encabezados por Nir Goldman, buscan recrear condiciones que por ondas de compresión que viajan a velocidades superiores a la del sonido - al chocar granos de hielo que contienen componentes a base de carbono y nitrógeno-, puedan sintetizar especies tan complejas como aminoácidos. De modo que no solamente, un cometa podría generar estas complejas especies como un reactor químico viajero, sino que también al incidir sobre una superficie planetaria en una colisión que termina con su largo viaje por el espacio estelar.

Muestras in Situ

De los centenares de cometas que han circundado nuestra estrella solar, frecuentemente avistados por astrónomos aficionados, puede que los más conocidos

en los últimos cuarenta años nos resulten el Kohoutek (1973), el West (1975), el Wild 2 (1978), el Halley (1986), el Shoemaker-Levy 9 (1994), el Hyakutake (1996) y el Hale-Bopp (1997). Sin embargo, la aventura de poder llegar a los mismos cometas y extraer muestras de sus materiales constitutivos o de impactarlos para conocer la estructura de un núcleo, frecuentemente la parte más sólida, no ha quedado relegada tan sólo a la imaginación de un relato de ciencia ficción. Así, ya se han realizado varias expediciones espaciales no tripuladas que han logrado medir, fotografiar, explosionar y extraer material para un posterior análisis de laboratorio.

Sin ir más lejos, *Stardust*¹⁹ ha sido una de las misiones espaciales exitosas que ha llevado a cabo el Programa Discovery de la NASA (Figura 7.3). Puesta en órbita el 7 de febrero de 1999, tardó cinco años para sobrevolar el cometa P/Wild 2 y situarse a unos 230 km de su núcleo, capturando material cometario de la zona coma del cometa mediante un gel captador de gases y partículas a base de óxido de silicio (SiO_2), en lo que se conoce como un *ultra low-density silica aerogel*.

En febrero de 2004, tras haber conseguido su objetivo, la nave Stardust dirige hacia la Tierra una cápsula mensajera con las muestras obtenidas, en un viaje que duraría dos años. Tras su aterrizaje en el desierto de Utah, los análisis químicos de las muestras rescatadas en el aerogel mostraron la presencia de compuestos orgánicos aromáticos policíclicos y especies ricas en oxígeno y nitrógeno, así como metil y

¹⁹ *Stardust Mission website*, <http://stardust.jpl.nasa.gov/home/index.html>.



Figura 7.3. Misión Stardust, NASA. Fuente: (<http://stardustnext.jpl.nasa.gov>).

etilaminas, siendo el principal logro el descubrimiento de la presencia de glicina, un aminoácido fundamental para la producción de proteínas^{20, 21}.

Singular y único fue también el experimento desarrollado por la nave *Deep Impact*, al hacer incidir un proyectil de cobre de 372 Kg sobre el núcleo del cometa Tempel 1, sobre una superficie aproximada de 4,9 x 7,6 kilómetros (Figura 7.4).

Este impacto que lanzó parte del material cometario al espacio fue registrado el 4 de julio de 2005 en una secuencia fotográfica que recorrió el mundo en las

20 Elsila, J.D., Glavin, D.P., y Dworkin, J.P. "Cometary glycine detected in samples returned by Stardust". *Meteoritics & Planetary Science*, 44, 1323–1330 (2009).

21 Glavin, D. P., Dworkin, J. P., y Sandford, S. A., "Detection of Cometary Amines in Samples Returned by Stardust", *Meteor. Planet. Sci.*, 43, 399 (2008).

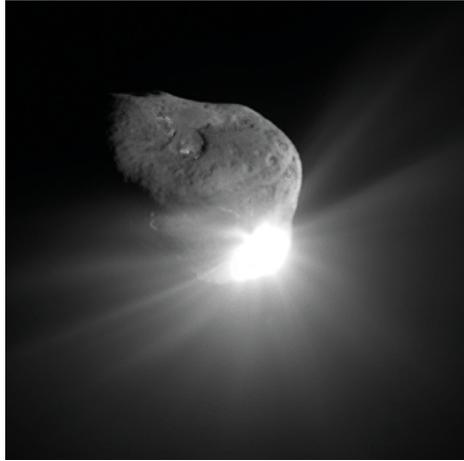


Figura 7.4. Impacto del proyectil de Cu lanzado por la nave *Deep Impact* sobre el núcleo del cometa.

Fuente: https://www.nasa.gov/mission_pages/deepimpact/main

portadas de los principales periódicos. Seis años más tarde, el 15 de febrero de 2011, en una nueva misión, esta vez de la nave *Stardust*, se acercó a 180 km de distancia del núcleo del Tempel 1 y logró fotografiar el cráter de 200 m de diámetro que produjo el proyectil de la *Deep Impact* (Figura 7.5).

Hace 65 millones de años

Pero no sólo investigación acerca de los orígenes de la vida en la Tierra y su relación con el cosmos nos han dejado el escudriñamiento de los cometas. Más de uno de estos viajeros del sistema solar se estrelló frontalmente con nuestro planeta, en donde terminó abruptamente sus días. Es en este escenario de una Tierra consolidada como germinadora de vida que los cometas han venido a producir cambios fundamentales en el curso de la evolución animal y vegetal. Hoy, dos casos resultan gravitantes.

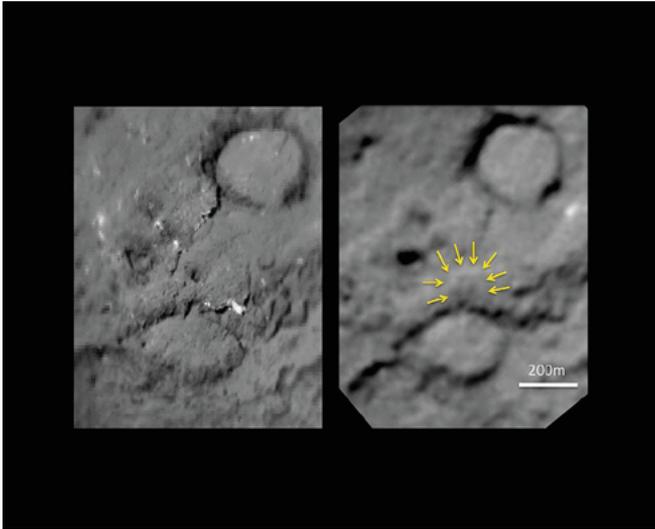


Figura 7.5. Vista del núcleo del cometa Tempel 1, tomada por la nave Stardust. En el lado derecho se marca la zona del cráter hecho por el proyectil de cobre lanzado desde la nave Deep Impact (NASA).
Fuente: https://www.nasa.gov/mission_pages/deepimpact/main

El primero, acaecido hace unos 65,5 millones de años, corresponde a un cometa o asteroide que impactó la península del Yucatán dejando el cráter de Chicxulub, de acuerdo a la teoría del impacto propuesta por los científicos norteamericanos Luis Álvarez, Premio Nobel de Física 1968, y su hijo geólogo Walter Álvarez²².

Pruebas complementarias a este cráter de 180 km de diámetro han sido las mediciones de iridio presente en arcilla en el nivel del suelo correspondiente a la capa sedimentaria del límite K/T (Cretácico/Terciario).

22 Álvarez, L. W. "Experimental evidence that an asteroid impact led to the extinction of many species 65 million years ago". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80 (2), 627-642 (1983).

Es conocido el mayor enriquecimiento en iridio que portan los asteroides, alcanzando del orden de las 470 ppb, a diferencia de la corteza terrestre en donde es mas bien escaso, con una distribución natural del orden de 0.4 ppb.

De modo que el impacto de un asteroide de aproximadamente 10 km de diámetro habría sido el causante de semejante desastre natural, en donde parte de él se habría vaporizado en su encuentro con la atmósfera y otra al golpear la superficie, lanzando material del suelo y propio hacia el espacio que, distribuyéndose a través de la atmósfera, habría depositado una delgada pero más concentrada capa de iridio a nivel planetario.

Efectivamente, mediciones emprendidas por los Álvarez y su equipo de científicos colaboradores en diferentes partes del mundo, determinaron que en esta zona del límite K/T de la corteza terrestre los niveles de iridio se incrementan hasta 6 ppb y más.

Lo que ocurrió con este impacto, equivalente a más de 10^{14} toneladas de TNT, en cuanto a tsunamis y terremotos, esto últimos estimados en un nivel de 14 en la escala de Richter, sin duda habrían de afectar la distribución de la vida planetaria, contribuyendo de manera significativa y particular a que los mamíferos se sobrepusieran por sobre los yacientes dinosaurios, dando origen a la historia que hoy todos conocemos.

Otro caso no menos dramático habría ocurrido 250 millones de años atrás, respecto del cual al noroeste de Australia en el fondo del mar, se encontraron en el año 2004 vestigios de un cráter superior a 150 km de diámetro y que daría cuenta de una de las extinciones

masivas más grandes con que cuenta la historia de nuestro planeta, con la desaparición de más del 80% de las especies terrestres y marinas.

Y sin ir muy lejos en el tiempo, las tecnologías existentes nos permitieron observar el impacto del cometa Shoemaker-Levy 9 con Júpiter el año 1994, mostrando la importancia de este planeta gigante para el sistema planetario solar, entre otras funciones como atractor de cometas y asteroides de material cósmico solar remanente de su disco original.

La fragmentación que hizo Júpiter del cometa, producto de las fuerzas gravitacionales conocidas como *fuerzas de marea*, permitieron observar una secuencia de impactos en su superficie, que seguido de estudios espectroscópicos, ratificaron la presencia de especies químicas como azufre, sodio, helio, litio, manganeso, hierro, silicio, metano (CH₄), sulfuro de carbono (CS₂), amoníaco (NH₃) y sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Nuevos Avistamientos e Impactos

“Numerosos como las espigas de trigo” podríamos decir acerca de los cometas y asteroides que surcan sin cesar, pero no por ello muy frecuentes en nuestro sistema solar para nuestra escala de tiempo humano. Tanto aquellos provenientes de la nube de Oort, que en la lejanía de nuestro límite estelar a más de un año luz de distancia circunda esféricamente todo nuestro sistema y cuyos cometas se reconocen por las amplias elipses que tardan miles de años en volver, como los provenientes del cinturón de Kuiper que, desde nuestro propio disco solar, marcado por la eclíptica en que se ubican todos los planetas, pero, más allá

de Plutón, en elipses muchos más cortas, emergen en tiempos menores a circundar el sol.

Así, permanentemente se acercan estos remanentes de material de la nebulosa cósmica solar original, la mayor de las veces cargados de agua, anhídrido carbónico, amoníaco, metano, hierro, sodio, silicatos y otros materiales de tipo mineral y orgánico, en una recurrente aproximación solar que nos deja al azar de sus recorridos, en la inmensa vastedad de espacio que, con el envejecimiento de nuestro sol, han ido simultáneamente estabilizándose gravitacionalmente de lo que fueron épocas pretéritas, durante el nacimiento de la estrella solar y el conjunto de su sistema planetario.

Sin embargo, recientes avistamientos, como el pequeño cometa Elenin (C/2010 x1), que en su mejor momento estuvo a sólo 22 millones de millas de la Tierra en octubre del 2011, habrán de seguir colocándose en la mira de observadores que, junto con esperar recibir de ellos nueva información vital como verdaderos mensajeros de vida cósmica, buscan descubrir fascinados el sentido de sus trayectorias, esperando sin embargo, no ser descubridores de uno nuevo que traiga asociado un forzoso aterrizaje para continuar generando nuevos cambios de evolución terrestre.

Aun cuando, el gran esfuerzo mundial a nivel astronómico de constituir estos conglomerados de telescopios como los proyectos ALMA en los cielos del norte de Chile o en el VLA en los cielos del sur de E.E.U.U., para a su vez explorar planetas extrasolares, constituyendo hoy por hoy, uno de los mayores desafíos de futuro para encontrar vida en el

cosmos. Sin embargo sabemos de las dificultades que encuentra cada planeta cercano a una estrella madre para llegar a desarrollar en sí la vida. ¿Cuan lejos o cerca debe encontrarse para que en su delicado balance térmico superficial logre tener agua líquida, materia fundamental para el desarrollo de los sistemas vivos?. A su vez, ¿tiene campo magnético que actúe como escudo protector de la furia que emane de su propia estrella madre con sus vientos ionizantes que expulsa hacia su entorno? Además, tiene un planeta mayor o mas grande que actúe de atractor de meteoritos y material cósmico circundante que no impacten con una frecuencia suficientemente alta para destruir todo vestigio de vida naciente?

Como podemos apreciar la lista de características asociadas a los planetas extrasolares para que puedan acoger la vida no es menor y si bien su búsqueda seguirá adelante como la gran esperanza de hallar vida en el cosmos, los cometas y sus jinetes de la vida seguirán desplazándose entre planetas y estrellas. De ahí que la investigación en la trayectoria y química de cada cometa que podamos avistar, seguirá siendo una tarea de largo aliento por la versatilidad de estos semilleros de material químico y su capacidad de transportar agua, molécula después del hidrógeno de las más abundantes en el universo y fundamental para la vida.

La investigación de los cometas no ha acabado, por el contrario, sospechamos que recién comienza y nuevas experiencias como *Stardust* nos permitirán seguir ahondando en la panspermia de Anaxágoras, en el interés de saber más acerca de la génesis de la vida y la evolución de ésta en planetas como el nuestro.

CAPÍTULO 8

ECOÉTICA EN UNA CULTURA GLOBAL

Hablamos de ética porque sin duda esta rama del saber filosófico alude al discurso racional sobre la conducta reflexiva, conscientemente responsable y libre que caracteriza a los individuos de nuestra especie. Es a través de ésta que pretendemos desarrollar una reflexión autónoma, crítica y arquitectónica, tanto del individuo como societal, de modo tal que accedamos a un perfeccionamiento del obrar humano mediante la afirmación y predominio de los valores y principios espirituales y morales, en tanto nos interese por el bien de los hombres concretos que van tras la conquista de la felicidad individual y en sociedad.

Así, la ética constituye todo cuerpo de ideas que tienen por objeto el estudio de la conducta humana en tanto que esta conducta lleva asociado un juicio de aprobación o desaprobación. Visto de este modo, la ética nos surge como un campo propio de interacciones que busca normar e interpretar las conductas y proceder de los individuos inmersos en un tiempo y un espacio que les son propios, habiendo sido desde un punto de vista clásico hasta hace poco, una reflexión focalizada en ámbitos geográficos locales y épocas restringidas a lapsos históricos focalizados de acuerdo a rasgos culturales específicos.

Hoy en día, sin embargo, cuando la cultura local se globaliza, la población humana alcanza magnitudes antes nunca imaginadas, cuando las

comunicaciones transfronterizan el conocimiento en tiempos instantáneos y cuando la ciencia y la tecnología permiten transgredir la naturaleza propia del entorno, se hace patente el impacto de los fenómenos interactivos societales tanto espaciales y geográficos como temporales que comprometen la flecha del tiempo. Así, ya hemos iniciado una marcha que necesariamente se inmersa hacia el futuro, comprometiendo las conductas de quienes aún no aparecen en el escenario de la vida a que están llamados habitar por concatenación histórica de la genética humana.

De este modo, estamos hoy frente a nuevos ámbitos reflexivos en torno a la ética convencional, que necesariamente conllevan esta nueva perspectiva espacio-temporal globalizadora, convergente a una cultura humana planetaria que sobrepasa la finitud del espacio físico que la contiene y que en un pasado no muy remoto le dio origen, mediante una evolución que permitió su mejor adaptación a las condiciones reinantes.

Es por ello que no nos es ajeno entender entonces, como a la fecha, diferentes pensadores ya han abierto su discurso a la reflexión de estos nuevos rasgos que comienzan a comprometer esta nueva cultura que no sólo se adapta a si misma, sino que comienza adaptar su entorno con serios efectos que comprometen su propio patrimonio futuro tanto en el plano biológico como físico-ambiental. De ahí que hoy hemos empezado a vivenciar el nacimiento de nuevas disciplinas éticas como la bio-ética o ética de la vida y la eco-ética o ética ambiental, por citar algunas.

Algunos ejemplos para la reflexión

Un caso globalizado

Diclorodifeniltricloroetano fue sintetizado por primera vez en 1873, sin embargo no fue sino hasta 1939 cuando Paul Müller en la Compañía Geigy descubrió su actividad insecticida, de amplia actividad efectiva sobre diferentes variedades de insectos, calificándosele como un agente químico de propiedades beneficiosas para la salud humana. Müller por este descubrimiento se hizo merecedor del Premio Nobel de Medicina en 1948. Y no podía ser de otra forma, bástese ilustrar que tan sólo en la India, el programa de control de la malaria esparcida por los mosquitos hizo descender el número de muertes anuales desde 500.000 en 1960 a 1.000 a comienzos de los años setenta.

Esta singular propiedad, sumada a un escaso efecto tóxico sobre mamíferos y a una alta estabilidad química, pronto hizo extensible su empleo hacia el campo de la agricultura mediante procesos de bajo costo industrial, alcanzándose niveles indiscriminados de producción que a la fecha se estiman en unos 2 millones de toneladas.

Los efectos ambientales que ocasionaría este producto, al cabo de un par de décadas ya se harían sentir. Rachel Carson, una bióloga marina y zoóloga norteamericana, en su libro *"Silent Spring"* publicado en 1962 (Figura 8.1), iniciaría la voz de alarma, transformándose en la primera científica que da las bases en la defensa del medio ambiente frente a la contaminación y el consecuente desarrollo posterior que siguieron los movimientos ecologistas.

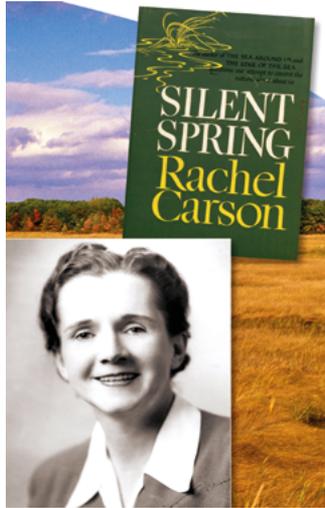


Figura 8.1. Rachel Carson, la bióloga norteamericana pionera en la defensa del medioambiente con su libro emblemático “Silent Spring”

La alta estabilidad química y por tanto su bajo nivel de degradación, unida a la baja solubilidad de este compuesto en agua, comienza a ser incorporado por las aves a través de su dieta con graves consecuencias para su sistema nervioso central y, en particular, para su sistema reproductivo que se manifiesta en un adelgazamiento y por ende un debilitamiento de la estructura calcárea de sus huevos. En algunas variedades de halcones (peregrinos) se han encontrado hasta 5.000 ppm de DDT, en tanto que su distribución geográfica, como compuesto orgánico persistente, ha llegado hasta la Antártica, encontrándose su presencia en huevos de pingüinos. Mas grave aún fueron las detecciones tempranas de este compuesto químico en leche materna.

Un caso focalizado

Hacia 1956 en Japón, un extraño mal afectó tanto a los habitantes de la bahía de Minamata como a sus aves y animales domésticos. Diferentes síntomas que afectaronles la visión y la falta de coordinación concluyó con la muerte de cincuenta habitantes y unos cien seriamente enfermos. La naturaleza de los síntomas evidenció una afección iniciada a través de la alimentación en este pueblo de pescadores, la que concluyó con la evidencia de dimetilo de mercurio (II) en los peces y moluscos de la bahía.

Un seguimiento de la fuente de mercurio en el sector determinó su procedencia de unos efluentes de la planta industrial Chisso, los que daban a un río cercano que desembocaba en dicha bahía. Para un período de 30 años se vertieron cerca de 80 toneladas de mercurio a sus aguas generando el impacto observado.

Dos documentos para el debate

En la revista *Science* de marzo de 1967, Lynn White, Jr., profesora de Historia de la Universidad de California, Los Ángeles, en su artículo titulado "*Las raíces históricas de nuestra crisis ecológica*"²³, ensaya la tesis de que "absolutamente sin mediar intención alguna, los cambios experimentados en el sendero humano a menudo afectan la naturaleza no-humana".

Y así inicia un desarrollo de su ensayo a partir de como, desde que el hombre llega a ser una especie numerosa, ha ido afectando su ambiente notablemente. Así, su método de manejar el fuego

23 Lynn White, Jr., *Science*, 155 (3767), 1203 (1967).

para la caza creó las praderas más grandes del mundo. Bástenos apreciar que desde el exterminio de los grandes mamíferos del Pleistoceno, pasando por la deforestación desarrolladas por los Romanos, o por el manejo de los bancos en el bajo del río Nilo o mas reciente cambiando la irrigación de las regiones hasta la famosa represa de Aswan Dam, son sólo estadios de un largo proceso que vienen a consolidarse tras lo que denomina la creencia Baconiana de que el conocimiento científico significa poder tecnológico sobre la naturaleza, concepción que apenas se arraiga no antes de 1850, con la excepción de algunas industrias químicas que ya aparecen en el siglo 18.

Es esta aceptación como un esquema normal de acción que marca, a su entender, la actual debacle, fundándose desde el gran evento humano histórico de la invención de la agricultura orientada a la producción agrícola familiar por la orientada a la producción agrícola industrial, llamada principalmente a atender la vastedad del crecimiento poblacional respaldado desde la perspectiva religiosa judeo-cristiana.

Efectos posteriores han venido marcando este derrotero, en donde fenómenos focalizados, como los problemas de smog del Londres de 1285, debido al alto consumo de carbón y leña, hasta el presente, con el amplio consumo de combustibles fósiles con problemas de smog en la mayoría de las metrópolis del planeta, emergiendo así nuevos impactos conducentes hacia un problema de calentamiento global planetario, que da curso a algunos de los aspectos más visibles de la crisis en nuestra biósfera.

De ahí que, han sido nuestras emisiones generadas al calor de nuestras tecnologías que han ido cam-

biando la química natural de la atmósfera, los valles fértiles por ciudades sin planeamiento urbanístico presionadas por un explosivo aumento de la población o la fuga desde el ámbito rural al urbano, que su concepción de este nuevo arraigo ha hecho de su entorno nuevos depósitos geológicos a base de residuos sólidos domésticos e industriales, aguas residuales contaminadas y desperdicios de nuevos productos artificiales que, indudablemente, ninguna creatura a parte del hombre mismo ha ensuciado en tan corto tiempo su propio nido.

Así nos plantea que nuestra presente crisis ambiental es el producto resultante de una cultura enteramente nueva y emergente: la Cultura Democrática. De modo que nos coloca en la disyuntiva de preguntarnos si un mundo democrático podrá sobrevivir a sus propias implicaciones, llamándonos a repensar nuestros axiomas, en donde nuestras raíces judeo-cristianas han jugado un rol fundamental en el antropocentrismo que ha causado la debacle ecológica en que se mueve el mundo.

Esta última cuestión que Lynn White nos plantea, enraizada en una fuerte cultura científico-tecnológica unida a la fuerte vertiente religiosa judeo-cristiana occidental, han marcado en nuestra sociedad una relación del hombre con el medio ambiente en una perspectiva antropocéntrica de una fuerza, tal vez, nunca antes vista en nuestra historia de la humanidad. Y mientras la naturaleza no tenga otra razón que la de existir para servir al hombre, la crisis ambiental que experimentamos no tendrá una alternativa distinta a su actual tendencia decadente.

Es por ello que a lo largo de su trabajo, junto con mostrar una tendencia histórica de los principales

hitos que han desencadenado la actual tendencia, Lynn White se aventura en una tesis que dará más tarde origen a grandes debates e inicios de una nueva reflexión filosófica asentando las bases de la Ética Ambiental. De manera que a su entender, este desastre ambiental no se supera sólo con ciencia y más tecnología, sino que, por el contrario, requiere de la incorporación de nuevos valores básicos que desplazando los provenientes de nuestras creencias religiosas antropocéntricas, incorporen a la naturaleza con un rol más propio que la de servir a nuestra especie, como centro de la creación en el concepto judeo-cristiano más tradicional.

En una dirección similar Garret Hardin Profesor de Biología de la Universidad de California, Santa Bárbara, en su artículo titulado "*La tragedia de los comunes*", publicado en la revista *Science* en diciembre de 1968, aborda el problema de la población desde una perspectiva en la que no cabe una solución técnica sino más bien requiere de una extensión fundamental en la moralidad²⁴.

Para ello nos plantea que una solución técnica puede ser entendida como una que requiere un cambio sólo en las técnicas de las ciencias naturales, demandando poco o nada en la forma de cambio del comportamiento humano ya sea en los valores o en las ideas de moralidad.

Al plantearse el crecimiento exponencial de la población humana sobre un espacio finito como lo constituye nuestro planeta, lo lleva a considerar que de no mediar un cambio de concepción valórica,

24 Garret Hardin, *Science*, **162**, 1243(1968).

el empobrecimiento medio de la calidad de vida humana necesariamente la llevará a un colapso, que la traduce en su visión de la tragedia de los comunes. Aun cuando la controversia del necesario avance tecnológico irá resolviendo los problemas propios que la demanda del crecimiento poblacional exige, le lleva a plantear que la alternativa de fuentes de energía que el hombre requiere para vivir si bien pueden ser conseguidas tanto para cubrir las 1600 calorías diarias de subsistencia, como las para desarrollar trabajo que son muchas más, necesariamente surge un nuevo problema que viene a superar la adquisición de energía como lo es la disipación de la misma. De ahí que sustenta que la posibilidad de llegar a establecer la población óptima se hace compleja si se busca comparar con la máxima que bien se podría alcanzar.

Es por ello que al estar las leyes de nuestra sociedad enmarcadas en un esquema de una ética antigua, y por ello poco adecuadas a un gobierno complejo, populoso y cambiante mundo como el actual, el enfoque necesario a que alude Hardin es el de nuevos valores que deberían estar insertos en un principio más general: "la moralidad de un acto debe ser una función del estado del sistema al tiempo que este es realizado". En este contexto, la paternidad responsable, como forma de controlar el crecimiento de la población y los fenómenos ambientales que conlleva tal situación, que se ha aludido por muchos durante este período, se circunscribe a establecer de que manera definimos el concepto de responsabilidad. Su sugerencia al respecto sigue los patrones del filósofo Charles Frankel quién establece como responsabilidad al producto de definir arreglos sociales.

Sin duda que estos arreglos sociales que producen responsabilidad son formas de crear nuevos modos de coerción, aun cuando son modos de coerción mutuas, acordadas por conveniencia para una mayoría de personas afectadas. Esta forma de acción indudablemente se opone al régimen de libertad máxima a que todos deben tener derecho en una concepción clásica antigua, dado que de otra manera esta libertad así entendida abre paso al caos de los comunes, al ser una población que no puede acceder a cada una de las demandas que quisiera lograr en forma simultánea a un dado momento de su elección. Por ello en la perspectiva de Hegel esta posición valórica se ajusta más a la realidad hoy planteada, donde “libertad es el reconocimiento de la necesidad”.

Sin duda que estos dos trabajos encierran el inicio de un amplio debate al establecer la lógica de los valores que van necesariamente a regir los destinos de una superpoblación en un espacio finito, hoy ampliamente aceptado en un esquema de cultura democrática liberal que busca la satisfacción del individuo y que se contrapone a la coerción mediante responsabilidades concertadas de bien común.

Nacimiento de la Ética Ambiental

Tal vez el 22 de abril de 1970 marca un hito en el desarrollo de lo que será la ética ambiental más tarde, cuando se acuerda por la Organización de las Naciones Unidas instaurar el día de la Tierra.

Son los diferentes grupos de ambientalistas inspirados en esta iniciativa que impulsan a filósofos y otros pensadores a establecer las bases de una Ética Ambiental. Los trabajos de Lynn White y Garrett Hardin

desatan un propicio clima de discusión académica que durante los años setenta habrían de ocupar ámbitos históricos, religiosos y teológicos, principalmente.

Desde entonces una concatenación de eventos se han ido desarrollando de entre los cuales se pueden realzar:

- La primera conferencia filosófica organizada por Williams Blackstone de University of Georgia en 1972. Los trabajos fueron publicados en 1974 bajo el título de "Philosophy and Environmental Crisis".

- El libro de John B. Cobb, "Is it Too late? A theology of Ecology", surge como el primer libro escrito por un filósofo en 1972.

- En 1973 un filósofo australiano, Richard Routley, presentó un paper al 15th World Congress of Philosophy, titulado "Is there a need for a new, an environmental ethic?"

- En 1975 se publica por primera vez en una revista de filosofía de corriente principal como Ethics, el artículo de Holmes Rolston III titulado "Is there an ecological ethic?"

Si bien este tipo de trabajos durante los años setenta se consideró una rareza y ocasionalmente aparecía más de un artículo publicado por año en alguna de las revistas de corriente principal, un cambio sustancial sobrevino hacia 1979 cuando Eugene C. Hargrove fundó la revista *Environmental Ethics*. Los primeros años de esta revista se orientaron a diferentes trabajos sobre los derechos de la naturaleza y las relaciones entre la ética ambiental y derechos de los animales y la liberación animal, alcanzando estos últimos un

campo propios de la reflexión ética separados de la ética ambiental. Hoy existen revistas propias para estos otros temas como *Etica y Animales*.

Hacia finales de los ochenta, el fortalecimiento de esta nueva área disciplinaria ha empezado a ser patente, mediante la contribución de diferentes autores de textos como: *Respect for Nature* de Paul Taylor ; *Environmental Ethics* de Holmes Rolston, *The Economy of the Earth* de Mark Sagoff; *Foundations of Environmental Ethics* de Eugene C. Hargrove; y *Why Preserve Natural Diversity?* de Bryan Norton, por mencionar sólo algunos.

Es en estos años ochenta que comienzan a generarse nuevos movimientos filosóficos en torno a posturas específicas como el *Ecofeminismo*, principalmente liderado por Karen Warren, *Ecología Social* basado en la perspectiva de Murray Bookchin, llegándose a establecer un importante nexo entre el mundo académico y ambientalistas radicales con la creación de la revista canadiense de *Ecología Profunda*, denominada *The Trumpeter*.

Ya en 1990, con el establecimiento de la *International Society for Environmental Ethics*, fundada con el aporte organizacional de Laura Westra and Holmes Rolston, III. , se inicia una nueva fase de fortalecimiento de esta disciplina con miembros a través de todo el mundo. Viene a complementar todo este esfuerzo realizado una segunda revista de filosofía dedicada al tema *Environmental Values*, publicada en 1992 en Inglaterra.

Desde un punto de vista teórico, las corrientes de pensamiento se han distribuido desde Taylor and Rolston, quienes han desarrollado una visión no-

antropocéntrica objetiva, pasando por autores como Callicott y Aldo Leopold que pueden entenderse como los precursores de una visión no-anthropocéntrica subjetiva, hasta una visión como la de Bryan Norton, quién a levantado una posición de un débil antropocentrismo que incorpora conceptos valóricos imbuidos de un fuerte pragmatismo en el concepto del valor.

Sin embargo, a pesar del camino recorrido hasta la fecha, resentimientos entre diferentes grupos de pensamiento mantienen una concepción sesgada de estos nuevos aportes, en el que grupos de filósofos profesionales siguen manteniendo al margen de las filosofías de corriente principal a la Ética Ambiental por ser esta más bien un campo propio de ambientalistas con escaso mérito teórico y demasiado práctico, y por su parte, grupos ambientalistas se quejan de que poco o nada ha significado la apertura de este nuevo campo por ser demasiado teórico y poco práctico.

Sin embargo esta tendencia segregacionista propia de todas las nuevas corrientes de pensamiento que suelen comenzar, han ido cediendo espacio a nuevos pensadores, quienes han comenzado a trabajar el concepto de éticos ambientalistas, en particular influenciando la actividad de biólogos conservacionistas, planificadores económicos, políticos, etc.

Quizás, y a modo de justicia, ha sido el trabajo de diversos ambientalistas fuera del ámbito académico quienes han focalizado su atención en las ideas de grandes pensadores del siglo pasado como Gifford Pinchot, John Muir, y Henry David Thoreau, conjuntamente con las principales figuras del movimiento de la Ecología Profunda. Esto ha dado

comienzo a movimientos como los ya señalados en donde la Conservación, Preservación, Ecología Profunda, Ecología Social y Ecofeminismo han ido consolidándose paulatinamente.

Ética y Científicos Ambientales

Hoy día presenciamos formalmente la puesta en escena de nuevos científicos formados especialmente para acometer los desafíos integrales y holísticos que nos presenta el medio ambiente. Al ser estos nuevos profesionales una clase emergente por las necesidades que el medio social demanda, su preocupación ante estas nuevas corrientes de pensamiento no sólo le será dable a escudriñar y rescatar lo más propio de éstas de acuerdo con su propio hacer, sino que en una posición ecléctica deberán tender a buscar la verdad en donde ésta se desarrolle, compartiéndose los resultados de tan fecunda tarea ya iniciada por los nuevos pensadores contemporáneos.

Al ser la ecoética la resultante valórica de una problemática medioambiental actual, sus alcances involucrará no sólo a los integrantes de un ecosistema urbano en particular, sino que tanto a su conjunto como a cada uno de sus miembros de forma individual, en donde los resultados de cada actuar se reflejaran tarde o temprano en la sociedad toda y, aún más, en la humanidad en su proyección final.

Así, la oportunidad de estar en la frontera del conocimiento los llevará necesariamente a nuevos avances en lo valórico, y a su vez, sin duda, permitirá ampliar los actuales campos de acción, entendiéndonos mejor a nosotros mismos como individuos y a comprender el rol fundamental que

significa la adquisición de niveles de conciencia más elevados ante una avanzada científico-tecnológica, hasta la fecha, no igualmente acompañada de una conceptualización teórico-valórica que demanda el crecimiento poblacional y el usufructo apropiado de nuestros bienes en el medio natural.

En esta perspectiva, es sin duda alguna la *ecoética*, o *ética ambiental*, una nueva playa inexplorada de conocimientos y valores donde se dará un nuevo punto de encuentro del ser con la naturaleza. Será un nuevo espacio reflexivo en donde encaminemos nuestra acción hacia nuevos derroteros planetarios que deberán culminar con un crecimiento armónico en pos de una humanidad inserta y no desencajada de la planetariedad. En suma, en donde el hombre y la naturaleza se reconozcan en un todo fecundo y en donde se permitan compartir la diversidad en la evolución de los tiempos y la vida plena con propiedad.

