

## **Efectos de la Contaminación Atmosférica en el clima Urbano y Calidad Ambiental de Arequipa**

Universidad Nacional San Agustín Arequipa, Perú.

Josué Llanque Chana

### **1 INTRODUCCIÓN**

Durante un largo tiempo se ha sostenido que la contaminación atmosférica que afecta a las ciudades en especial a las urbes y metrópolis latinoamericanas es, producto de la interacción entre condiciones atmosféricas y topográficas adversas para la dilución de los contaminantes, y la existencia de altas tasas de emisión de estos últimos, provenientes tanto de fuentes fijas como móviles. Consecuentemente y dado que los factores geográficos son inalterables, sólo resta concentrar el esfuerzo en la reducción de las emisiones para controlar el problema de la contaminación atmosférica urbana.

Las emisiones vehiculares continúan aumentando acelerada y permanentemente en todas las ciudades, dado el incremento del parque automotor y las distancias recorridas. Más bien, se estaría lejos de estabilizar las cifras de automóviles que circulan por las ciudades, las que, por el contrario, son bastante más bajas que las ciudades de los países desarrollados.

El aumento del parque automotor, cuyo número promedio es aún típico en países subdesarrollados, y el incremento de las distancias y número de viajes, no sólo han incrementado fuertemente las superficies urbanizadas, sino que también los aportes de contaminantes atmosféricos, que han neutralizado las eventuales reducciones de las emisiones industriales. En diversos sentidos, se observa como tiende a tornar insostenible la vida en ciudades como Arequipa, considerando que la función básica de respirar resulta dañina para la salud y que algunas de las actividades fundamentales para conservarla, tales como la práctica del deporte y la gimnasia, llegan a estar prohibidas.

Multidisciplinariamente, la contaminación atmosférica es solo un síntoma de las profundas e irreversibles transformaciones introducidas por la sociedad sobre los hábitats naturales. El medio ambiente urbano es una construcción social y por ello, si alcanzan niveles adversos para el desarrollo humano, se debe probablemente a una comprensión y manejo inadecuados de las restricciones y potencialidades del ambiente natural cuya capacidad de resiliencia de ve superada por las descargas de desechos y contaminantes. Como lo demuestra el caso de Arequipa, los procesos de expansión urbana, las asignaciones

del uso del suelo y los diseños de calles y fachadas no han tenido necesariamente en cuenta el comportamiento de la naturaleza produciendo islas de calor, depredación de las áreas verdes agrícolas (campaña arequipeña), pérdida de la capacidad de reciclaje biogeoquímico he incluso, anulación de la ventilación.

## **2 CONSECUENCIAS AMBIENTALES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

### **2.1 Características Geográficas de la Ciudad**

Arequipa, es considerada como la segunda ciudad del Perú, en orden de importancia, cuenta con una superficie de 63.345 Km<sup>2</sup>, y una población total regional de 1'078.707 habitantes; de los cuales 752.658 (74% aproximadamente) pertenece a la provincia de Arequipa. Se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas de 16° 24' 10" de latitud sur y 72° 32' 10", de longitud oeste de Greenwich y a una altitud de 2.329 m.s.n.m., al pie de los volcanes; Chachani, Misti y Pichu pichu, al NO y NE respectivamente, además está circundada por la cadena montañosa de Cerro Verde hacia el SE y está dividida por el río Chili que la cruza de Norte a Sur. Las características de desarrollo urbano de: "La Ciudad Oasis" son muy particulares, debido a su estratégica localización con resto a otras ciudades de la Macro Región Sur del Perú, asimismo, su ubicación geográfica entre los Andes y la Faja desértica costera del "Tablazo Continental", perteneciente a uno de los desiertos más áridos del mundo le confiere problemas en el mantenimiento del equilibrio ecológico de su ecosistema.

### **2.2 Estructura Urbana**

La estructura Urbana de Arequipa, esta dada de acuerdo a su dinámica actual, es decir al grado de desarrollo económico y al proceso de intensificación de la concentración urbana, que ha desarrollado a través de los años. De modo que, la estructura urbana se organiza de manera concéntrica generando un desequilibrio en el uso del suelo urbano, una segregación funcional, espacial y social, por lo que existe una tendencia de crecimiento irracional debido al adosamiento de nuevas estructuras, que originan una desarticulación en su interior y con respecto al área central.

Esta estructura urbana de carácter "Monocéntrica - Unipolar" se ve reflejada en la actualidad en sus diversos componentes, por un lado físicamente Arequipa, en su crecimiento, ha ido transformando y desbordando los límites de su casco antiguo y ocupando áreas intermedias, y a efectos del proceso de conurbación entre los distritos intermedios ha ido reduciendo áreas agrícolas y luego áreas periféricas, para posteriormente

desarrollarse en forma “Radial Concéntrica”. En este sentido, el problema fundamental, central de toda la problemática urbanística de Arequipa, es la “centralidad” es el primer aspecto y el origen del mal. La consecuencia inmediata de la “concentración inorgánica” es el “caos urbanístico”. Este caos se manifiesta bajo los siguientes aspectos: El deterioro ambiental, deterioro del legado arquitectónico, la congestión del tránsito, contaminación atmosférica y la imprevisión de infraestructura y equipamiento en la periferia.

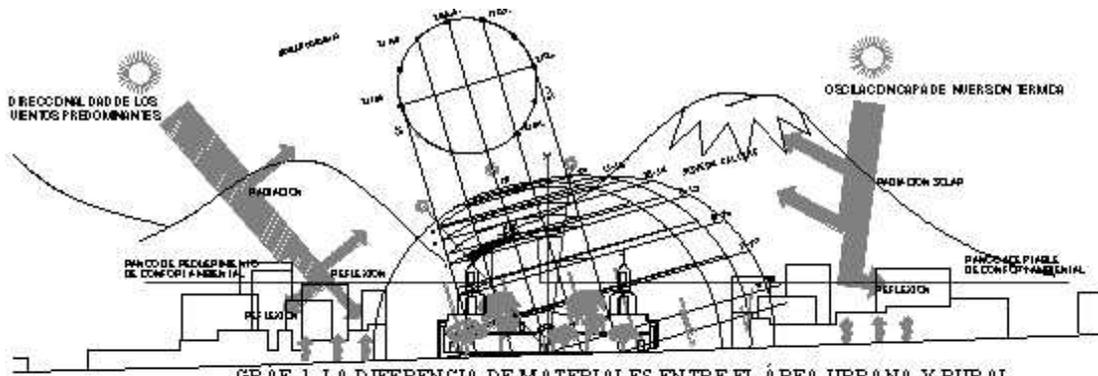
## **2.3 La Densidad y sus Consecuencias Ambientales**

### **2.3.1 La Radiación Solar Directa**

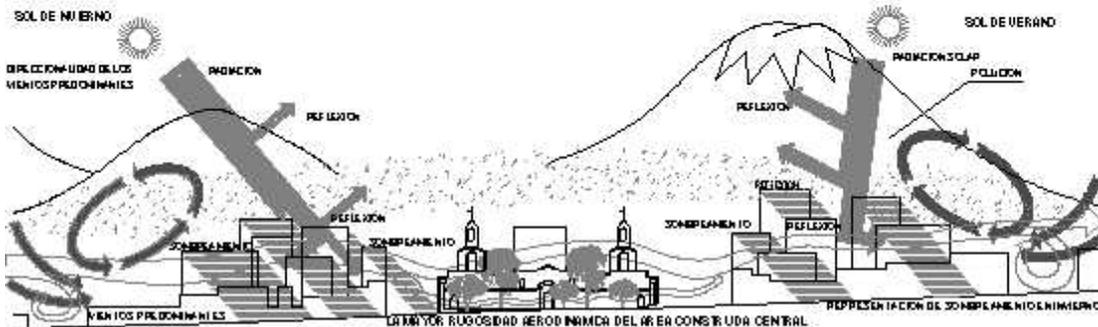
Resulta bastante evidente que el clima del núcleo central es diferente al de las áreas rurales (campiña) o de los sectores intermedios que incluyen áreas verdes. El predominio de la masa de hormigón sobre el área verde, por la escasa vegetación, donde las superficies impermeables de las calles y de los espacios pavimentados, y la piedra, ladrillo y el hormigón de los edificios, almacenan y conducen calor mucho más rápidamente en el suelo o las superficies con vegetación. Es decir, La concentración de la masa edificada en el núcleo central, tienen efectos más inmediatos: la altura y disposición de los edificios modifica la circulación del viento, la temperatura, la repartición de la humedad y otros componentes del biotipo. Mientras que en el área rural el calor se almacena principalmente en las capas superiores. En los sectores como: Tingo, Tiabaya, en el mismo río Chili, la bóveda recibe y retiene la mayor cantidad de calor mientras que en los niveles inferiores permanecen relativamente fríos. En verano por ejemplo la temperatura del día en el centro son de 27° C, mientras que en la periferia rural se registran 22° C, y por la noche desciende a 6° C. (Gráf. 1)

### **2.3.2 Los Vientos**

Los vientos en la ciudad, responden al modelo conocido como vientos de valle y montaña, cuya mayor intensidad se presenta entre las 13 y 16 horas, en los meses de agosto y noviembre con un promedio de 8,34 Km/h y en mayor intensidad desde las 10 de la noche hasta las 7 de la mañana con un promedio de 2 m/s. Los vientos de día contribuyen en la contaminación de la ciudad de manera significativa ya que éstos no pasan arrastrando los gases contaminantes, sino que giran alrededor de ella, es decir entran a la altura de Pichu pichu, pasan por la ciudad, chocan en el Batolito de Cerro Verde, para luego chocar en el Chachani y retornar a la ciudad, es decir formando un remolino alrededor de la ciudad, esto significa que el aire contaminado de la ciudad al combinarse con los vientos de montaña retornan nuevamente a la ciudad, para luego estancarse en la atmósfera de Arequipa. Sólo al atardecer los vientos del N-O, son los que tratan de desplazar la contaminación atmosférica a las afueras de la ciudad. (Gráf. 2).



GRAF. 1. LA DIFERENCIA DE MATERIALES ENTRE EL ÁREA URBANA Y RURAL



GRÁF. 2. LA DENSIDAD Y SUS CONSECUENCIAS AMBIENTALES

### 2.3.3 La Temperatura

No todas las superficies construidas son iguales en su comportamiento térmico, ni mucho menos. El asfalto negro y la piedra de granito negro en el adoquinado de las calles, absorben mucho el calor, en la calzada podemos encontrar temperaturas muy elevadas (piedra de granito 52° C). El calor irradia sobre las paredes del entorno y aumenta el efecto de trampa de calor. En la época de invierno, la insolación es muy escasa, pero puede haber un calentamiento por radiación de calor desde el lado soleado de uno al sombreado del otro. Durante el día en verano, los muros de hormigón acumulan calor que irradian después, durante la noche. Tienen un calor específico más bajo que el suelo, que contiene más agua, así que absorben y desprenden calor más deprisa que una superficie no construida, con tierra y vegetación, y casi no se enfrían por evaporación. Por tanto, en verano, en la ciudad de Arequipa suele hacer más calor que en las áreas periféricas rurales.

## MEDICIONES EXPERIMENTALES DE TEMPERATURA DE LA PLAZA MAYOR

Mediciones de temperatura: verano (21 de diciembre)	10:00 a.m.	12:00 p.m.	2:00 p.m
Parte central	22° C	25° C	26° C
Portales bajo sombra	21° C	23° C	23° C
Mediciones de temperatura: invierno (21 de junio)			
Parte central	21° C	24° C	24° C
Portales bajo sombra	18° C	18° C	20° C

Fuente: J. Llanque. Arquitectura Bioclimática. 2001.

## 2.4 El metabolismo de la ciudad

Cuando la ciudad entra en funcionamiento se generan los flujos metabólicos de material y energético en el sistema, es decir tanto la energía como los materiales entran en cantidades y son empleados de diversas formas dentro del sistema, y qué energía y qué y cuántos materiales salen del sistema. En el caso de la ciudad, la energía que llega puede hacerlo de forma espontánea, como la radiación solar o el viento, o traída por el hombre, como el petróleo, gas natural, gases licuados, electricidad, carbón, leña, etc. Los materiales son múltiples, desde el agua de lluvia y los gases atmosféricos transportados por el viento, los alimentos, materiales de construcción, metales, productos manufacturados, etc. Entre las salidas tenemos, por supuesto, energía emitida en forma de calor u otras formas de energía exportadas de la ciudad, gases contaminantes emitidos como resultado de la actividad urbana, residuos líquidos y sólidos, domésticos o industriales, productos manufacturados, etc.

Por tanto, en la ciudad se produce una gran cantidad de energía calorífica expulsada a la atmósfera proveniente de la pequeña industria y sobre todo del transporte público y privado, todos ellos de segunda mano, que se encuentran en estado de obsolescencia, sin mantenimiento ni control de revisión por parte de las autoridades sanitarias.

## 2.5 Precipitaciones pluviales y lluvia ácida

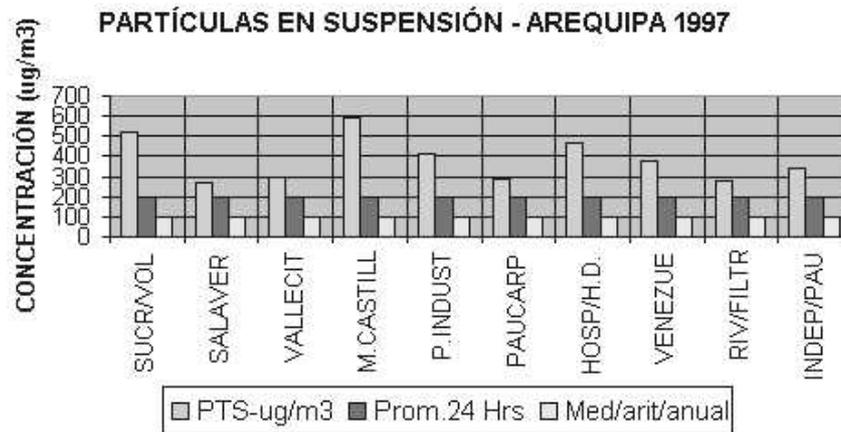
Los principales contaminantes presentes en la atmósfera de la ciudad de Arequipa, son anhídridos de azufre, partículas sólidas en suspensión, monóxido de carbono, plomo, así

como diferentes hidrocarburos para mencionar sólo contaminantes abióticos. Existe también una variedad de microorganismos que van desde bacterias hasta diversos virus. El principal efecto de la contaminación en la precipitación pluvial es la elevación de la acidez del agua de lluvia, produciéndose el fenómeno de “**lluvia ácida**”. Los diferentes niveles de acidez y basicidad de las soluciones acuosas de sustancia, comúnmente se expresan en términos de pH. Una solución neutra tiene un pH de 7; una solución mayor es básica o alcalina, y una solución menor, será más ácida la solución. Cada número entero de disminución en el pH representa un aumento de 10 veces en la acidez.

En Arequipa se ha podido detectar lluvia ácida con un pH de 4,3 cuando empiezan las primeras precipitaciones pluviales (E.P.B.-UNSA). Además, tenemos un río Chili casi muerto sin poder encontrar un solo pez, muestra que indica que las aguas en la parte baja (distrito de la Joya) están altamente contaminadas. En forma general, estas depositaciones ácidas son altamente nocivas, perjudicando nuestro medio ambiente como: El agua con un pH inferior a 4,3 generalmente no contiene peces. En el río Chili se han detectado un pH de 3,5; lo que nos da una idea del grado de contaminación del río Chili. Debilita o mata los árboles, especialmente los árboles que se encuentran en calles céntricas o aquellos que se encuentran en las vías de circulación más congestionadas. Daña las raíces de los árboles, debilita los árboles y los hace más susceptibles a enfermedades, insectos, hongos y musgos que prosperan en las condiciones ácidas.

## 2.6 Calidad del Aire y Estrés Urbano

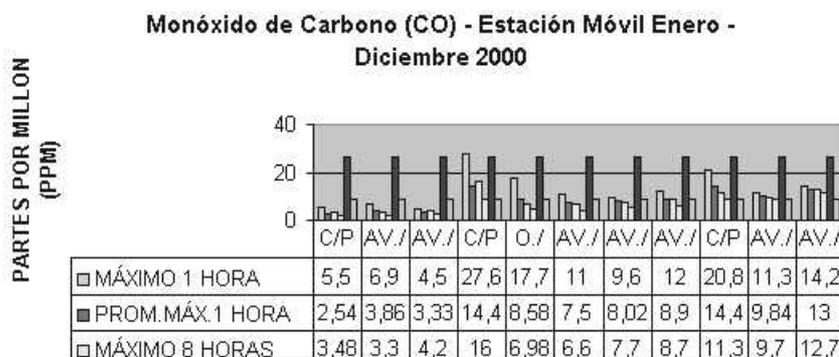
La contaminación del aire es uno de los principales factores que contribuyen a la insalubridad de la ciudad, afectando también a la salud de las plantas. Cuando el clima es cálido y soleado gases como los óxidos de nitrógeno reaccionan con los hidrocarburos, creando nubes nocivas que cubren la ciudad. En la ciudad de Arequipa, la principal fuente artificial de contaminación atmosférica es el parque automotor por ser una de las principales actividades. Además de óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos y monóxidos de carbono (CO). La contaminación del aire por los vehículos ha ido empeorando con el tiempo, dado que se siguen importando vehículos de segunda mano (combis y ticos) y por otro lado, las mediciones que realiza el Ministerio de Salud siguen registrando los altos niveles de contaminación que superan al doble a límites permisibles. En lugares como terminal terrestre, en donde hay mayor concentración de camiones con motores diesel emiten (NOx) y finas partículas de hollín directamente implicados en el cáncer del pulmón. La comisión Municipal sobre el medio ambiente considera al transporte como la causa individual más importante del daño medio ambiental. Sin embargo los transportistas no pagan los costos sociales y medio ambientales. Como podemos observar, el cuadro de PTS, indican el estado de la contaminación de la ciudad, contaminación que en muchos casos sobrepasan los patrones de la calidad del aire planteados por el Ministerio de Salud (200 ug/m3).



Fuente: Ministerio de Salud

*GRADO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR PTS*

Como se puede observar, Arequipa, es una ciudad más contaminada del Perú, esto debido a la configuración geográfica en forma de hoyo, donde los vientos no pueden dispersar los contaminantes. Los cuadros nos demuestran que además de la concentración de otros gases tóxicos, en el 2000 a pesar de que son menores que en 1996, pero por mínima diferencia; más aún si comparamos la cantidad de habitantes y el número de vehículos con tendencia creciente, donde en el año 1996, con 625.658 habitantes los niveles de concentración CO, ascendía a un promedio de 25 PPM/h, mientras que en el año 2000, con 870.000 habitantes, ascendía a 28 PPM/h. Por tanto, la tendencia ascendente continúa, por que el transporte urbano, es un medio que genera empleo para muchas familias, pero la consecuencia de los efectos negativos ambientales y en la salud los paga la población.



ECA: Estándar de calidad de aire.

Fuente: Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental - Arequipa

*CONCENTRACIÓN DEL MONÓXIDO DE CARBONO (CO)*

En este sentido, la ciudad central es un lugar estresante. El estrés puede derivar de diversos factores, pero quizás el más significativo sea la incapacidad de las personas para controlar su medio ambiente. Las multitudes, los altos niveles de ruido y los humos son

causa de tensión y stress. El medio urbano central, también produce “sobrecarga de información” con cientos de luces, señales, anuncios, escaparates y rápidos vehículos que constantemente llaman nuestra atención. Todo esto, junto con la “ansiedad existente”, las preocupaciones de empleo, la vivienda y la inestabilidad de las relaciones humanas hace que muchas personas vivan al límite del derrumbamiento. Algunos se vuelven agresivos y propensos a la violencia, a la depresión, la drogadicción y el alcoholismo. Los automóviles no son una causa más de los males arequipeños. La polución que provocan es una de las causas de que uno de cada veinticinco niños arequipeños sufra de asma y otros problemas respiratorios (pleuritis). Durante el invierno del 2000, se estima que las cifras récord de polución fueron causantes de mayor porcentaje muertes en solo dos meses. Por tanto, la polución es causa de los diversos problemas de salud, desde conjuntivitis e irritaciones de garganta hasta asma, enfisema o cáncer de pulmón, además, el efecto contaminador de la ciudad son respuestas predecibles a los sentimientos de extrema inseguridad.

## 2.7. Proceso de la isla urbana de calor e inversión térmica

A causa del gran número de construcciones urbanas y áreas asfaltadas que existen en el centro de la ciudad de Arequipa, cuando el sol calienta el terreno, el suelo adquiere una temperatura más alta que las áreas verdes que rodea la ciudad. De esta manera se crea una capa de aire frío cerca del suelo y una capa de aire caliente a una altura mayor. Durante la noche este proceso continúa, llegando a formarse varias capas de intercaladas de aire frío y aire caliente. Al amanecer, la capa de inversión entra en una dinámica de cambios muy importantes.

En la estruja de la capa de inversión se observa lo siguiente: A las 6:00 a.m. el sol calienta lentamente el terreno, cuya temperatura asciende a 9° C., en tanto que el aire inicia su proceso de contaminación con la actividad urbana, formando una sola capa de inversión que llega a tener 13° C. a los 50 m de altura. A las 8:00 a.m. el sol sigue calentando lentamente el terreno, llegando a 11° C., en tanto que el aire contaminado se eleva como una película de aire oscura (bruma), que conforma una sola capa de inversión que llega a tener 16° C., a 100 m de altura. A las 10:00 a.m. el sol prácticamente ya ha calentado la ciudad, donde el terreno llega a tener 18° C., en tanto el aire casi prácticamente contaminada se eleva como una mancha oscura espesa de color gris amarillento sobre la ciudad, desplazada lentamente hacia las partes altas de la ciudad en dirección N-O a S-E. En tiempo en calma a las 2 y 3 de la tarde suele desplazarse hacia el centro de la ciudad por efectos de cambios de la direccionalidad de los vientos del S-E a N-O.

Estas maneras de comportamiento y diferencias de temperatura del aire contaminado, entre 0 y 100 metros de altura, forma una barrera prácticamente impenetrable no sólo para los rayos solares que a su vez van calentando sino que para casi todos los gases contaminantes emitidos a nivel del terreno. Vista la dinámica atmosférica de la ciudad, nos indica que solamente se produce un fuerte calentamiento del terreno, quizás pasado el mediodía a una de la tarde, donde la capa de inversión llega a superar la altura de las



necesidad de desplazarse en automóvil diariamente. Esto reduce el volumen y el impacto del tráfico denso, que puede ser reducido y controlado, especialmente alrededor de los centros urbanos menores. En los recorridos locales pueden ser más eficaces los tranvías, autobuses eléctricos, la bicicleta, y a su vez el caminar se hace más agradable.

### **3.2 Metabolismo Circular**

Se podría aspirar a que las ciudades cumplan su metabolismo de manera “circular”, en donde el consumo en las urbes, se reduce mejorando el rendimiento y aumentando la reutilización de los recursos. Debemos reciclar materiales, reducir gastos, conservar las energías agotables y experimentar con las renovables. En la medida en que la gran mayoría de la producción y del consumo tiene lugar en las ciudades, los actuales procesos lineales que generan contaminación a partir de la producción deben remplazarse por procesos circulares de uso y reutilización.

Planificar una ciudad sostenible requiere la más alta comprensión de las relaciones de ciudadanos, servicios, política de transporte, y generación de energía, así como su impacto total sobre el entorno inmediato. En definitiva para que nuestra ciudad sea sostenible, debe desarrollar metabolismo circular. Por cuanto “el desarrollo sostenible mejora la calidad de vida de las personas dentro del contexto de la capacidad de soporte de su territorio”.

### **3.3 Reducción de los Niveles de Temperatura.**

Recuperación y articulación de los grandes sistemas de espacios públicos, constituidos por el eje ecológico del río Chili como área paisajista y otra por un sistema interior central en “trama verde”, articulando las plazas, plazoletas y parques existentes y ha recuperarse. Inserción de la naturaleza: insertar la vegetación interconectada que acompañan al sistema de vías peatonales y al interior de las manzanas, refrescamiento natural del viento (NO-SE) y las fuentes de agua en los espacios públicos. Por cuanto, se contribuye a la reducción de los niveles de temperatura y a su vez se contribuye con la humidificación, de tal forma que se constituye en un elemento termorregulador del espacio público central.

### **3.4 Reducción de los Niveles de Contaminación Atmosférica**

La reducción de los niveles de contaminación atmosférica mediante la renovación del parque automotor (vehículos modernos que usen el gas como combustible), control y monitoreo constante, el reordenamiento vial y la racionalización del transporte, supone plantear ciertas normas que establezcan todo un sistema integrado de transporte

metropolitano, considerando las diversas modalidades de transporte rápido y masivo, para luego optimizar la red vial existente, con los diseños adecuados para la operación de los diversos modos de transporte.

En síntesis, podemos establecer que, la saturación del gas CO<sub>2</sub> en la atmósfera provoca el debilitamiento de la capa de ozono con la consiguiente penetración de un exceso de los rayos ultravioleta que son el detonante de un efecto invernadero y el sobrecalentamiento del planeta. Las ciudades hoy en día son los principales focos de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Esta concentración nos permite controlar muy claramente las emisiones ajustando y focalizando el problema como base para su consecuente resolución. Está claro que la huella ecológica generado por las urbes, tienen una alta responsabilidad frente al derecho de vida de las personas, por cuanto la población es la que paga las consecuencias. Sería interesante poner un alto valor añadido sobre el consumo de hidrocarburos con grandes impuestos y con leyes drásticas.

#### 4 BIBLIOGRAFÍA

ALBERT, LILIANA

2001 *Curso básico de toxicología ambiental*. Editorial Noriega editores. México.

GIRARDET, HERBERT.

1992 *Ciudades: alternativas para una vida urbana sostenible*. Celeste Ediciones. Madrid

HOUGH, MICHAEL

1998 *Naturaleza y Ciudad: planificación y procesos ecológicos*. Editorial Gustavo Gili, S.A.Barcelona

LLANQUE, JOSUÉ

1999 *Arequipa: plan de recuperación del centro histórico*. Editorial Artes Gráficas de la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA). Arequipa, Perú

LLANQUE, JOSUÉ

2001 *Arquitectura Bioclimática: técnicas para el uso de la energía solar pasiva*. Editorial Artes Gráficas UNSA. Arequipa, Perú.

