

Confort lumínico

Contaminación atmosférica en la Ciudad de México

José Antonio Soto-Ruiz*

Resumen

La energía proveniente del sol es un elemento natural del que se apoya la arquitectura para dar al usuario de un espacio habitable un estado de comodidad óptico llamado confort lumínico. La arquitectura se ha apoyado en la ciencia aplicada, y ha desarrollado modelos matemáticos para calcular la incidencia lumínica que recibe una edificación. En términos de sustentabilidad, a este conocimiento se le conoce como modelos de cálculo de iluminación natural. En Inglaterra, Holanda, Bélgica, Rusia, Alemania, el oriente de Europa, China, EUA, Canadá y Brasil han desarrollado modelos de cálculo de iluminación natural para aprovechar los niveles de disponibilidad lumínica bajo las condiciones atmosféricas propias de cada país.

En un inicio, se hizo un análisis comparativo de los modelos de cálculo existentes para demostrar la importancia que tiene, para una ciudad tan compleja y dinámica como la Ciudad de México; posteriormente, se estructuró con base en los aspectos atmosféricos de la Ciudad de México y un modelo de cálculo de iluminación natural existente, una propuesta de modelo de iluminación natural que tome como variable primordial la contaminación atmosférica de la ciudad de México, tomando en cuenta las sustancias presentes en la contaminación, considerando solo aquellas que interactúan con la luz en cualquier rango del espectro. Como conclusiones iniciales, en base a los estudios y las mediciones se ha comprobado que la contaminación y el comportamiento radioactivo presentan una alteración en la iluminación de los espacios, comprometiendo aspectos de confort lumínico.

Palabras clave: iluminación, modelo, partículas suspendidas.

La arquitectura bioclimática vincula diversas áreas del conocimiento desde donde puede estudiarse, con el objetivo de generar conocimiento enfocado hacia la sustentabilidad y el confort humano. Mediante la indagación en campos de la ciencia aparentemente apartados de la arquitectura, producen elementos clave que determinan la contribución del producto final de un proyecto de investigación, atendiendo, por ejemplo en este caso, los efectos que la luz natural tiene sobre la contaminación y sus fenómenos relacionados con el confort lumínico, que van desde los ritmos de descanso y actividad hasta procesos moleculares más complejos del sistema endócrino, así como la percepción del espacio.

El espacio habitable para el ser humano es en realidad, desde su concepción más primitiva, el espacio físico en el que existe una persona, incluyendo el medio natural; es decir, el entorno que lo rodea y que no ha sido modificado por el hombre. Así como en el espacio habitable construido existen elementos que definen los límites, en el medio natural, la vegetación, la tierra, el agua y el aire son los elementos que limitan el espacio habitable. En el caso de la tierra, el agua y la vegetación, el ser humano percibe mediante el tacto, la vista, el olfato y el oído dichos elementos, sin embargo, en el caso del aire se hace complicado determinar la zona de bienestar, pues el límite de lo habitable se encuentra justo donde una persona compromete sus funciones vitales, debido a que las condiciones atmosféricas cambian a razón del aumento de la altura. Así la cantidad de oxígeno y temperatura decrecen mientras la presión aumenta, provocando que el aire no produzca bienestar en las personas, generado por la caracterización de la atmosfera terrestre.



José Antonio Soto-Ruiz.

Alumno del programa de Doctorado en Ciencias en Arquitectura y Urbanismo de la ESIA Tecamachalco, Maestro en Ciencias por la ESIA Tecamachalco, y director fundador del taller de arquitectura Kali Arquitectura Sustentable S.A. de C.V., desde 2014 desarrollando gestiones inmobiliarias y desarrollo de proyectos ejecutivos con enfoque sustentable de vivienda unifamiliar, plurifamiliar, oficinas y comercio en la Ciudad de México y Querétaro.
oni31@hotmail.com

Los primeros estudios sobre la composición de la atmósfera y su comportamiento la definían como una capa inerte de gases, capaces de limpiar y mover los agentes externos por el flujo de viento y los procesos químicos derivados de la humedad y la precipitación. Hoy es sabido, y desde mediados del siglo xx, que la atmósfera terrestre es un sistema complejo de gases con flujo dinámico de masas (Cicerone, 1999) que ante la evidencia de la existencia y permanencia de la contaminación fotoquímica se detona la presencia de trazas atmosféricas, como las de los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y monóxido de carbono (Crutzen, 1995), desequilibrando la composición gaseosa en la tropósfera.

La capa llamada tropósfera atmosférica, es la primera de cuatro capas generales de la atmósfera que se encuentra desde la Tierra hasta poco más de 10 km de altura, dependiendo del emplazamiento del sitio, pues en los polos esta distancia promedio es menor. Es en esta capa donde se encuentra la cantidad de gases en equilibrio que ofrecen las condiciones óptimas para la vida como la conocemos (Liu, 2002). Posteriormente, existen 3 capas más de la atmósfera terrestre que se delimitan de manera invisible por condicionantes climáticas, como la presión, la temperatura y la radiación.

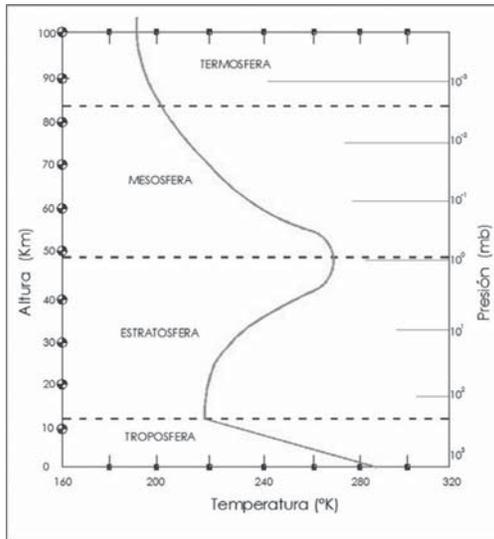
Lo que hace que la primera capa de la atmósfera sea habitable es su constante aumento en equilibrio de las 3 variables antes mencionadas: temperatura, altura y presión, como se puede observar en la gráfica 1, pues si se compara el comportamiento de las variables en las otras tres capas podemos observar un inconstante modelo de crecimiento en relación la altura.

La constante en el equilibrio está determinada por el movimiento de masas proveniente de las corrientes en polos y el Ecuador, la cual se modifica de forma periódica durante las estaciones del año con base al movimiento del planeta alrededor del sol, como lo muestra la ilustración 1.

El sistema de gases que presenta hoy la atmósfera es el mismo sistema que existía hace dos mil años, derivado de múltiples cambios que para alcanzar la composición que hoy tiene pasaron millones de años e innumerables procesos climáticos (Liu, 2002); sin embargo, la emisión de gases a la atmósfera ha modificado, en las últimas décadas, la proporción natural de sustancias gaseosas a la cual el ser humano se ha adaptado.

Así, la adaptabilidad humana al medio que lo rodea demuestra una vez más que es una de las características más sobresalientes del ser humano. Aunque los animales e incluso los seres microscópicos poseen esta cualidad, el hombre es flexible ante los nuevos impactos que le rodean, sean de índole cultural, social o natural. El ser humano busca adaptarse al medio en ocasiones a costa de su bienestar a largo plazo, en busca de aceptación, o de inclusión a un sistema globalizado que dio pie al sistema económico como lo conocemos hoy en día, y que ha puesto a prueba este proceso del hombre pudiendo explicar cómo es que se ha adaptado en las grandes ciudades que ha construido a pesar de la existencia de agentes externos que lo dañan, como la contaminación atmosférica, pues cifras de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2012 arrojaron que 3.7 millones de defunciones prematuras en todo el mundo se relacionaron con la inhalación de partículas suspendidas en el aire exterior, y de ese dato, 80% de esas muertes sucedió en ciudades de países en vías de desarrollo con ingresos económicos menores o medios como la ciudad de México (OMS, 2012).

A sabiendas de que la contaminación atmosférica es hoy en día uno de los problemas de salud más severos a nivel mundial y representa un reto para la humanidad, las ciudades que presentan los mayores índices de contaminación atmosférica son también las más pobladas del mundo; por ejemplo, la ciudad de México, con un población de casi 9



Gráfica 1. Muestra las capas de la atmósfera terrestre, y sus variables que determinan su equilibrio, presión, altura y temperatura. Elaboración propia, 2015. Fuente Liu, 2002.

millones de habitantes (INEGI, 2015), tiene como prioridad, la movilidad dentro de la ciudad y la resuelve en 62% mediante el uso de automotores que utilizan combustibles fósiles para su funcionamiento, de los cuales los automóviles privados solo representan 17%, mientras que el transporte público ocupa 55%, dejando el resto al uso de sistemas de transporte colectivo con cero emisiones como el sistema de transporte colectivo metro o los trenes ligeros, la bicicleta y los autos eléctricos o híbridos (Fimevic, 2011). Este creciente problema de movilidad en la ciudad, aunado a una disgregación de la población que trabaja en la ciudad y vive fuera de ella, ha provocado que los niveles de contaminación, determinados por el índice metropolitano de calidad del aire, se mantengan constantes en los 365 días del año. Y aunque no todos los días se consideren contingencia, es un hecho que los indicadores muestran una actividad atmosférica irregular a lo largo del año.

Además del transporte y la industria, la ubicación geográfica de las ciudades y su desarrollo edilicio constituye un agregado negativo que influye directamente al deficiente flujo de masas de viento atmosférico que presentan sistemas dinámicos en todo el planeta. Consecuencia de esto es que la ciudad de México se encuentra emplazada entre elevaciones naturales denominadas en su conjunto eje neovolcánico, dotando de una morfología definida por la sierra y el valle, teniendo como elevaciones principales dentro de la ciudad cerros como el de la Cruz (3930 msnm) y volcanes inactivos como el Tláloc (3,690 msnm); sin embargo, la existencia de volcanes más alejados como el Popocatepetl e Iztaccihuatl, que alcanzan hasta 5,000 msnm, definen el

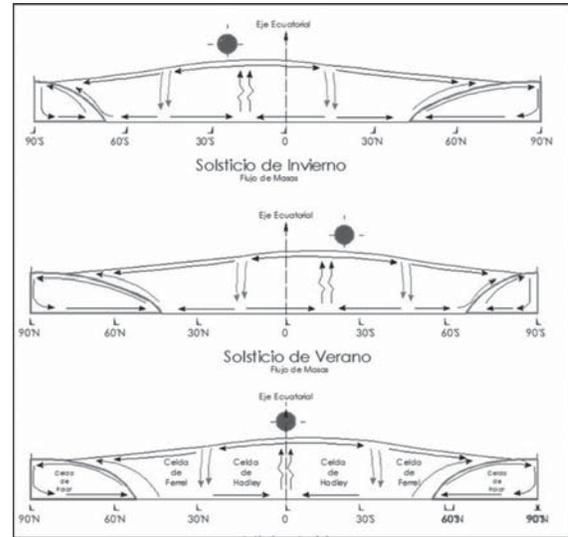


Ilustración 1. Muestra comportamiento gaseoso y movimiento de flujos de masas en las cuatro estaciones del año. Elaboración propia, 2015. Fuente: Liu, 2002.

elemento causante principal del estancamiento de fluidos gaseosos en la ciudad de México, y por ende, la concentración de partículas suspendidas en el aire (ver ilustración 1).

Además, la ubicación geográfica de la ciudad también influye en distintos tópicos que afectan la actividad arquitectónica, ya sea en términos de diseño, planeación o construcción; por ejemplo, los niveles de radiación lumínica y ultravioleta son elementos que inciden de manera directa en los procesos naturales fotoquímicos y de limpieza del aire, pues como sabemos, los fenómenos fototérmicos se relacionan con la altura de la ciudad (2,240 msnm), y la radiación, sobre los procesos de combustión que se recrudecen al ser más contaminantes por la disminución del oxígeno hasta en 23% a diferencia de lugares a nivel del mar (Fimevic, 2011), alterando así el pH del agua, corroyendo piedras y oxidando metales. Además de esta vinculación, la radiación lumínica provoca fenómenos de absorción y dispersión de las moléculas, alterando el paso del espectro lumínico, deteriorando la visibilidad dentro y fuera de los espacios habitables construidos.

En este sentido, surge la discusión de estudiar los efectos negativos que la concentración de partículas suspendidas en el aire tienen sobre el confort lumínico de los espacios habitables construidos mediante el análisis del comportamiento lumínico y los índices de contaminación atmosférica, tomando como base los niveles de luxes en un espacio definido y el Índice Metropolitano de Calidad del Aire (imeca) clasificando por zonas la ciudad.

La Ciudad de México se zonificó con base en el emplazamiento de las 16 estaciones de monitoreo atmosférico con

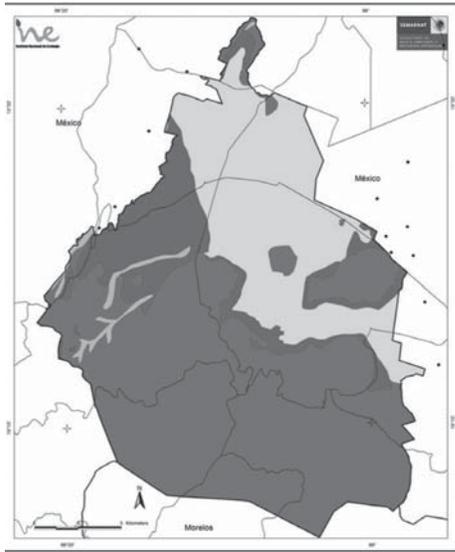


Ilustración 2. Muestra mapa de elevaciones principales de la ciudad de México. Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 2000.

las que cuenta la Red de Monitoreo Atmosférico (Rema) en el territorio de la ciudad, determinando las 7 zonas de estudio para establecer un patrón de comportamiento lumínico (ver ilustración 3).

Estas 7 zonas de estudio han sido monitoreadas en un periodo que comprende desde el 1 de octubre de 2014 hasta 1 de octubre de 2015, analizando los niveles de los cinco contaminantes más susceptibles a interferir con el espectro lumínico, obteniendo un primer acercamiento en los niveles de comportamiento lumínico por zonas con base en los siguientes contaminantes: SO_2 (óxidos de azufre), NO_2 (óxidos nítricos), O_3 (ozono), y partículas de entre 2.5 y 10 micrómetros, obteniendo el siguiente comportamiento (ver gráfica 2).

En la gráfica 2 se puede observar el comportamiento lumínico de un día completo comprendido entre las 6:35 y las 16:45 horas, rango de tiempo que registró mediciones el SIMAT. Puede verse que el comportamiento lumínico tiene algunos picos hacia arriba cuando los niveles de contaminación bajan en su índice metropolitano; en consecuencia, puede establecerse que en tanto los contaminantes aumentan, la iluminación dentro del espacio disminuye, por lo que se puede establecer una alteración en el espectro derivado de los procesos de absorción y dispersión antes descritos.

Mediante el mismo cruce de mediciones, y aplicando inferencias sobre los datos de radiación lumínica, se establecen los siguientes patrones de comportamiento lumínico en una año para las 7 zonas de la ciudad de México, como se muestra en la gráfica 3.

En la gráfica 3 se muestra en escala del 0 al 14 los porcentajes de afectación lumínica, siendo el valor más alto, en

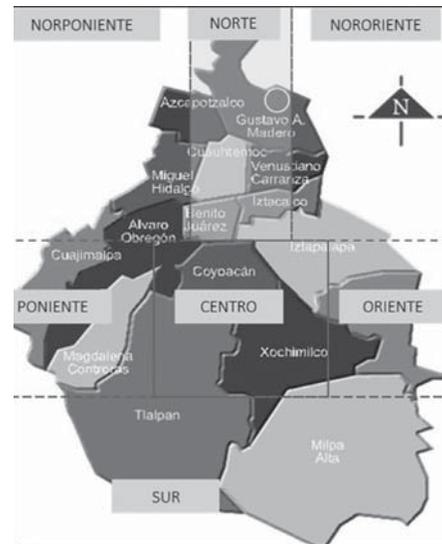


Ilustración 3. Muestra mapa de zonificación de la ciudad de México para referenciar resultados. Elaboración propia, 2014.

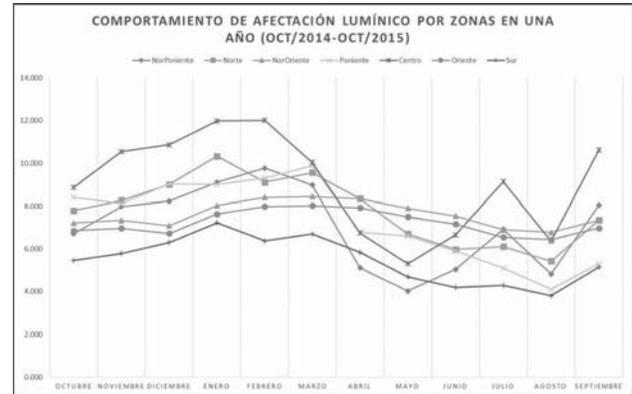
la zona centro de la ciudad, los meses de enero y febrero, produciendo una disminución de 11% en la calidad lumínica de los espacios arquitectónicos. De esto puede determinarse que la existencia de contaminación atmosférica genera una alteración en el espectro lumínico, y esto a su vez provoca un deterioro en el bienestar visual de las personas.

Recordando que los cálculos de iluminación natural se establecen mediante la aplicación de modelos de cálculo como el factor de luz de día, el cual no considera la contaminación como atenuante, es posible entonces reflexionar sobre el resultado erróneo que quizá un modelo que no considere esta variable puede arrojar, deteriorando los niveles de iluminación al interior de los espacios desde la etapa de diseño. Ya que las tres variables generales para el cálculo de iluminación natural se resumen en: componente directa, componente de cielo y componente de reflexión. Se determinó que la componente de cielo es la que está afectada por los niveles de contaminación atmosférica, y es donde deben incluirse los valores presentados en la gráfica 3 basados en el siguiente esquema (ver ilustración 4).

Finalmente, se concluye que, con base a las mediciones realizadas de iluminación natural y las comparaciones con los índices de contaminación atmosférica, existe un nivel de afectación causado por la existencia de gases contaminantes en la atmósfera, lo que produce un efecto negativo en el confort lumínico de los espacios arquitectónicos y éstos son variables en las siete zonas de la ciudad, como muestra la gráfica 3, siendo la zona centro la de mayor afectación. Por esta razón, es necesario establecer un esquema que permita integrar a los cálculos de luz natural los índices de afecta-



Gráfica 2. Muestra comportamiento lumínico comparado con el comportamiento contaminante en un día. Elaboración propia, 2015.



Gráfica 3 Muestra el comportamiento de afectación lumínica por zonas en el periodo de un año. Elaboración propia, 2015.

ción por contaminación, clasificados por zonas de la ciudad y delimitados por temporalidad en periodos horarios, con el objetivo de contribuir al mejoramiento en el diseño de espacios en la ciudad de México desde la etapa de planeación, lo cual repercutirá en positivo en la huella de carbono de cada usuario.

En reflexión, la producción de edificios energéticamente eficientes es el principal objetivo de cualquier proyecto de investigación sobre arquitectura bioclimática. Hacerlo sobre las estrategias de diseño pasivo se traduce en la consideración del entorno ambiental, y para esto se debe tomar en cuenta el origen y el fin del edificio, los materiales de la región, la infraestructura urbana, las características climáticas y el impacto en el bienestar integral en los usuarios ☺

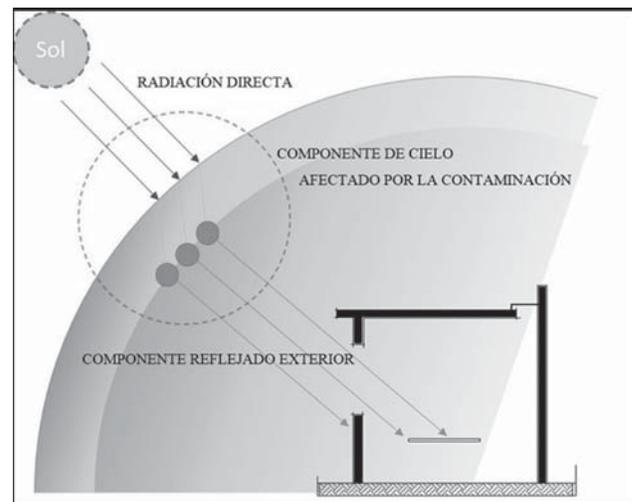


Ilustración 4. Muestra mediante un esquema, la componente de cielo de un modelo de cálculo afectada por la concentración de partículas suspendidas en el aire. Elaboración propia, 2015.

Fuentes de consulta:

- Alario, Franco (1979). Fotoquímica de la atmosfera; agujero de ozono. Real academia de ciencias. Chile.
- Alatorre, N. (2002). El ozono, un contaminante de las zonas urbanas. Centro de estudios en geografía humana, Colegio de michoacán, México.
- Iribarne, J. (1996). Termodinámica de la atmosfera, Ministerio de medio ambiente. España.
- Cicerone, R. (1999). Atmospheric chemistry and the Earth System. In Modeling, in atmospheric chemistry and global change, G. Brasseur, Orlando, Oxford University Press. EUA.
- Crutzen, P., (1995). Ozone in the troposphere, in "Composition, chemistry and climate of atmosphere" H. Singh, Van Nostrand Reinold Publ., NY, EUA.
- Liou, K.N. (2002). An introduction to atmospheric radiation, International geophysics series volumen 84, Renata Dmowska, James. EUA.

- OMS, (2012) Organización Mundial de la Salud.
- INEGI, (2015) Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática, México.
- FIMEVIC, (2011) Fideicomiso para el Mejoramiento de las vías de Comunicación del Distrito Federal, México.
- Spedding, J. (1981). Contaminación atmosférica. Reverte, México.

*Datos del autor:

Alumno del programa de Doctorado en Ciencias en Arquitectura y Urbanismo de la ESIA Tecamachalco