

**XXIV CONGRESO MUNDIAL DE CARRETERAS
MEXICO 2011**

CUBA – REPORTE NACIONAL

**SECCION ESTRATEGICA A:
SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR
CARRETERA.**

**LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE
CARRETERAS EN EL CAMBIO CLIMÁTICO.**

**H Álvarez Goris y
M L Alba Menéndez**
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría,
Habana, CUBA
lili@civil.cujae.edu.cu

INDICE

RESUMEN

1. **INTRODUCCIÓN.**
2. **VIGILANCIA DEL CLIMA Y DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EN CUBA.**
3. **ESTRATEGIA Y ACCIONES VINCULADAS A LA ESFERA DEL TRANSPORTE PARA LA DISMINUCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI).**
 - 3.1 Procedimiento para la determinación del Indicador de impacto sobre la calidad del aire.
 - 3.1.1 Caso de estudio para la determinación del Indicador de Calidad del aire
 - 3.2 Diseño de vías en áreas ecológicamente sensibles
 - 3.2.1 Análisis del diseño a partir del indicador de calidad del aire.
 - 3.3 Análisis de la Congestión.
 - 3.3.1 Caso de Estudio para el análisis de la congestión.
4. **CONCLUSIONES**
5. **REFERENCIAS.**

RESUMEN

Aunque la contribución de Cuba al calentamiento global y a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) es muy reducida, en nuestro país se acomete, desde hace años, la vigilancia del clima y de las emisiones de estos gases. Nuestra condición de archipiélago nos convierte en uno de los países más vulnerables a los cambios climáticos. En Cuba, existe la voluntad de reducir los gases de efecto invernadero entre 2008 y 2012 en un 5 por ciento respecto a los de 1990.

Para la determinación de las emisiones y remociones de los GEI se utilizan las metodologías recomendadas, para estos fines, por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).

Desde el punto de vista de la calidad del aire, en Cuba existen normativas que establecen requisitos mínimos de calidad ambiental.

Específicamente en la esfera del transporte, aunque el parque vehicular cubano es reducido, se han desarrollado estrategias y acciones, tanto por parte del Ministerio del Transporte, rector de la vialidad, como por el Ministerio de la Construcción, rector de las construcciones viales, que incorporan el análisis de la contaminación atmosférica y en especial las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero en la política, planes, proyectos y programas que realizan cada uno de estos Ministerios, en correspondencia con el modelo de Desarrollo Sostenible planificado para el país.

Mediante varios Casos de Estudio se documentan los procedimientos para acometer la mitigación del impacto de los Sistemas de Transporte por Carretera sobre el Cambio Climático.

1. INTRODUCCIÓN.

La República de Cuba está enclavada en el mayor de los territorios que conforman el grupo de las Antillas, ubicado a la entrada del Golfo de México, entre las penínsulas de la Florida y de Yucatán. El archipiélago cubano tiene una superficie de 110 922 km² y está formado por la Isla de Cuba, la Isla de la Juventud y más de 4 500 cayos e islotes. Posee una configuración larga y estrecha, similar a la de un caimán. Su longitud es de 1 250 Km., su ancho máximo es de 193 Km. y el mínimo de 32 Km. Posee una gran diversidad paisajística y ecológica y una relativa riqueza en determinados recursos naturales con respecto al resto de las islas de la región del Caribe.

Cuba, a pesar de las limitaciones económicas, apuesta por un desarrollo sostenible y por tanto por una movilidad sustentable, que implica la capacidad de cubrir las necesidades de las sociedades de trasladarse libremente, comunicarse, comerciar y establecer vínculos, sin sacrificar valores humanos y ecológicos de las generaciones actuales y futuras.

En 1992 se realizó la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en la Cumbre de la Tierra. Esta Cumbre aprobó la Declaración de Río, la que formuló nuevos postulados y principios en la problemática ambiental: la adopción de la Agenda 21, que definió metas a alcanzar para el siglo XXI, y las Convenciones Marco de Cambio Climático y de Diversidad Biológica. En 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kioto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los

gases de efecto invernadero. Los gobiernos signatarios de dichos países pactaron reducir en al menos un 5% en promedio las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990.

A pesar de que, el Protocolo de Kyoto no exigía la disminución de las emisiones a los países en desarrollo, el mismo fue suscrito por Cuba, por lo que existe la voluntad de reducir los gases de efecto invernadero entre 2008 y 2012 en un 5 por ciento respecto a los de 1990. Al ser Cuba uno de los países pertenecientes a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático debe estimar las variaciones del carbono almacenado en sus bosques y notificarlas, teniendo establecido un sistema de inventario para registrar la absorción y las emisiones de carbono.

2. VIGILANCIA DEL CLIMA Y DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EN CUBA.

En Cuba se acomete, desde hace años, la vigilancia del clima y de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Las evidencias indican claramente que el clima se ha hecho más cálido. Desde mediados del pasado siglo la temperatura media anual ha aumentado cerca de 0,6 °C. En términos generales se está produciendo una expansión del verano y una contracción de la duración del invierno en Cuba.

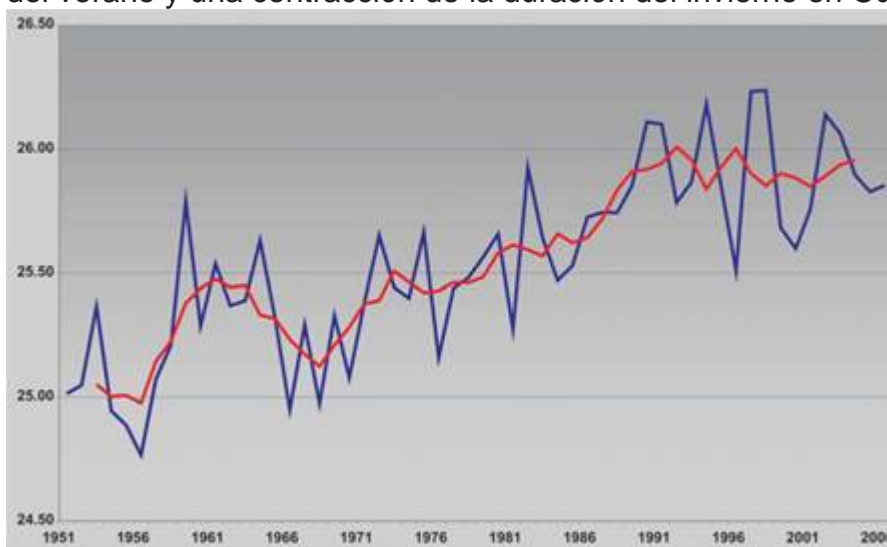


Figura 1. Temperatura media anual de Cuba entre 1951 y el 2006. Fuente: López et al., 2007.

Las emisiones y remociones de GEI resultan de un elevado número de actividades humanas. Metodológicamente se agrupan en los siguientes sectores principales: Energía; Procesos Industriales; Uso de Solventes; Agricultura; Cambio del Uso de la Tierra y Silvicultura; Desechos. Además cada sector tiene una apertura en “categorías de fuentes” y “subcategorías de fuentes” las que, en los reportes de emisiones, son abordadas por separado con todos sus detalles (en total 30 categorías y 123 subcategorías de fuentes). Se incluye, además, un módulo dedicado al aseguramiento y control de la calidad así como a la gestión de las incertidumbres de los estimados de emisiones realizados.

La estimación de emisiones y remociones de gases de invernadero en Cuba se asume como un proceso continuo, cuyos resultados se actualizan y mejoran en cada reporte. Siguiendo recomendaciones de ‘buenas prácticas’ en cada reporte se recalculan las emisiones de toda la serie de datos en aquellas categorías de fuentes en la que se han producido cambios en los métodos de cálculo utilizados, o se han obtenido nuevos o

mejores datos de actividad o parámetros de emisión. Esto garantiza la consistencia de la serie temporal de emisiones. Por este motivo, el último reporte emitido contiene, siempre, los mejores datos de emisión disponibles hasta ese momento para toda la serie.

Para la determinación de las emisiones y remociones se utilizan las metodologías recomendadas, para estos fines, por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Estas son las Guías Revisadas del IPCC de 1996 (IPCC, 1997); las Guías de IPCC sobre Buenas Prácticas y Gestión de Incertidumbres (IPCC-GPG, 2000). También se utilizan elementos de las Guías del IPCC sobre Buenas Prácticas en Uso, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (IPCC- LULUCF, 2003) y las Guías del IPCC del 2006 (IPCC, 2006).

Las emisiones brutas de GEI tuvieron una aguda disminución en Cuba a partir de 1990 obteniendo el mínimo en 1993. A partir de 1993 estas se han incrementado ligeramente en algunas categorías de fuentes y estabilizado, o disminuido, en otras (López *et al.*, 2007). Tomando como referencia los resultados que arrojó el último inventario realizado en 2004, la emisión de gases que provocan el efecto invernadero es reducida en comparación con los países industrializados. «Los valores registrados son típicos y aceptables para nuestro nivel de desarrollo»

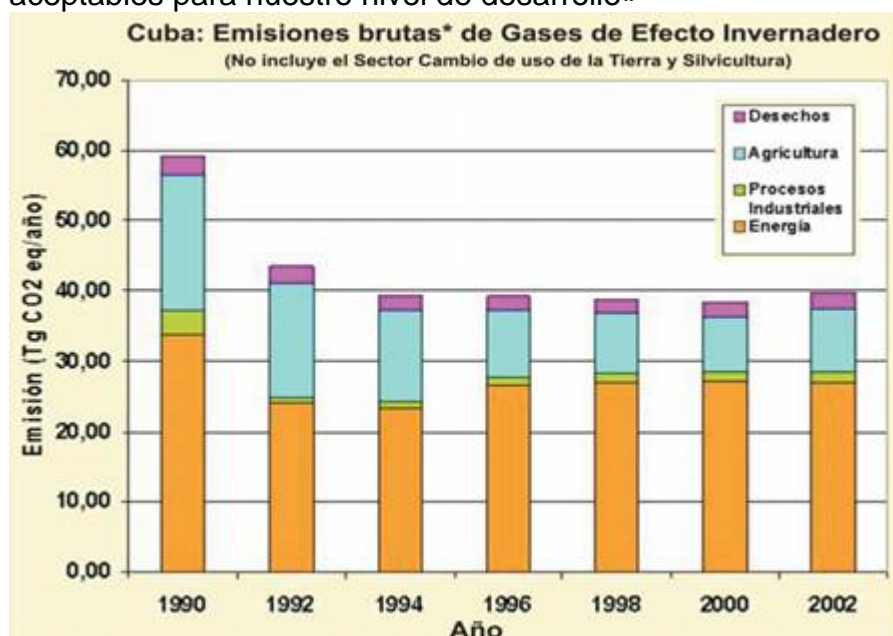


Figura 2. Emisiones brutas de GEI en Cuba (Tg CO₂ eq/año). Fuente: López *et al.*, 2007.

3. ESTRATEGIA Y ACCIONES VINCULADAS A LA ESFERA DEL TRANSPORTE PARA LA DISMINUCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI).

Específicamente en la esfera del transporte se han desarrollado estrategias y acciones, tanto por parte del Ministerio del Transporte, rector de la vialidad, como por el Ministerio de la Construcción, rector de las construcciones viales, que incorporan la dimensión ambiental en la política, planes, proyectos y programas que realizan cada uno de estos Ministerios, en correspondencia con el modelo de Desarrollo Sostenible planificado para el país.

Así, el Ministerio del Transporte ha desarrollado una serie de acciones encaminadas a minimizar los impactos ambientales negativos, y en especial la

disminución de las emisiones contaminantes en aras de lograr un transporte sostenible, entre ellas las más importantes:

- Desarrollo de variantes de transporte no motorizado, incentivando el uso de la bicicleta, triciclos, coches de tracción animal entre otros creando facilidades para su convivencia con el tránsito motorizado.
- Incremento de recorridos a pie, facilidades al peatón y educación vial.
- Desarrollo de transporte multimodal, haciendo uso del ferrocarril para medianas y largas distancias, así como para transporte de mercancías y carga.
- Establecimiento de normas de diseño para las vías que involucran el aspecto ambiental y en particular la contaminación atmosférica en la toma de decisiones de Proyecto.
- Ordenamiento del tráfico y establecimiento de medidas de reducción de la congestión sobre la base de las emisiones de gases contaminantes.
- Acondicionamiento de Centros de Inspección Técnica y Ambiental a vehículos en todas las capitales de provincia.
- Reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera proveniente de los medios de transporte a partir de la introducción de combustibles alternativos, como es el caso del Gas Natural comprimido.
- Aplicación de tecnologías nacionales que conllevan a una mayor eficiencia en la combustión y al tratamiento de los gases en el parque vehicular actual, tales como la aplicación de encendido e inyección electrónica, la construcción de convertidores catalíticos, etc.
- Implantación de regulaciones administrativas sobre la circulación de vehículos de carga en la ciudad, teniendo en cuenta antigüedad, tipo de combustible, normas de control de emisiones.

El Ministerio de la Construcción, desde el punto de vista del Proyecto, ha establecido dos regulaciones nacionales que relacionan el diseño de las carreteras con el Medio Ambiente, que son:

- “Procedimiento para el análisis ambiental de variantes en el diseño de carreteras”, que incorpora las cuestiones medioambientales al proceso de diseño y establece la metodología para el análisis de variantes, teniendo en cuenta los impactos que cada una de ellas provocará sobre los distintos factores del medio ambiente.
- “Diseño de vías en áreas ecológicamente sensibles”, que establece la estrategia de planificación vial para este tipo de áreas y los parámetros de diseño geométrico de las vías sobre la base de la aptitud de acogida del territorio.

Las previsiones de los impactos ambientales concebidas a nivel de Proyecto, permiten el análisis de alternativas para minimizar las alteraciones desde esta etapa. El análisis ambiental de variantes implica la necesidad de conocer la calidad ambiental inicial del medio receptor sin proyecto, prever las alteraciones que se pueden ocasionar, y evaluar la calidad ambiental final con proyecto, pudiéndose valorar la importancia del impacto como la diferencia de la calidad ambiental inicial y final.

El análisis ambiental de variantes considera:

- Establecimiento de las características ambientales del área a intervenir.

- Ubicación sobre el plano topográfico del área de las distintas variantes propuestas georeferenciadas.
- Determinación para cada variante de los datos de entrada para los modelos de previsión de impactos de cada variable ambiental analizada.
- Valoración de los impactos que cada una de las variantes provocará sobre los distintos factores del medio según procedimiento especificado en cada caso.
- Compatibilización de los criterios ambientales, económicos, etc.
- Selección de la variante definitiva.
- Confección del proyecto ejecutivo que deberá incluir las medidas correctoras y de mitigación

Con respecto a la calidad del aire y al control de los Gases de Efecto Invernadero, en Cuba existen normativas que establecen requisitos de calidad ambiental. (Ver Anexo 1)

El indicador de impacto sobre la calidad del aire que se considera es el radio de protección sanitaria, es decir la distancia de seguridad mínima establecida entre la fuente emisora, en este caso la vía, y los límites de las áreas residenciales de descanso y otros objetos de protección del medio ambiente.

El radio de protección sanitaria se calcula a partir de:

- Grado de contaminación atmosférica a través del índice P. (según NC 39, Atmósfera. Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios.)
- Concentración máxima admisible normalizada de sustancias para un tiempo determinado. (Según NC 39, Atmósfera. Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios.).

En función del radio de protección sanitaria y del mapa de uso y ocupación del territorio se establece la importancia del impacto.

3.1 Procedimiento para la determinación del Indicador de impacto sobre la calidad del aire.

1. Determinar mediante el modelo de previsión seleccionado los valores de concentración real de los principales contaminantes (CO, SO₂, NO₂, y partículas) provocados por el sistema de transporte en una red de receptores ubicada en los alrededores de la vía.
2. Generar un mapa de isolíneas de igual nivel de contaminación, para cada contaminante modelado.
3. Interpolar la isolínea de nivel de concentración máxima admisible en cada mapa generado.
4. Determinación del área que estará afectada por niveles de contaminación superiores a los permisibles.
5. Para cada receptor analizado, determinar el grado de contaminación atmosférica determinando el índice P en cada punto.
6. Generar un mapa de isolíneas de igual grado de contaminación (igual P).
7. Interpolar en el mapa las isolíneas correspondientes a los límites de P que definen las zonas con distinto grado de contaminación atmosférica (ligero, moderado, elevado o extremo).
8. Determinación del radio de protección sanitaria (distancia de seguridad mínima establecida entre la fuente emisora y los límites de las áreas residenciales, áreas de

descanso de la población y otros objetos de protección del medio ambiente) para la vía en cuestión.

El radio de protección sanitaria puede calcularse como la distancia perpendicular al eje de la vía hasta la isolínea correspondiente al valor de P que corresponda a un nivel de contaminación ligero a partir del mapa de cada contaminante modelado, escogiendo la distancia perpendicular a la vía hasta la curva de nivel de concentración máxima admisible. La generación del mapa puede ser sobre la base de un mapa topográfico, una fotografía aérea, el plano de planta del vial en cuestión o un fotomontaje. En todos los casos debe estar georeferenciado. La escala del mapa debe ser la mayor posible y nunca menor de 1:5000.

3.1.1 Caso de estudio para la determinación del Indicador de Calidad del aire.

La predicción de los niveles de contaminación atmosférica que provocará el Proyecto de la Autopista de entrada a la Habana fue el objetivo propuesto, así como la determinación del radio de protección sanitaria necesario para estos fines y la confección del mapa de contaminación por monóxido de carbono para la zona de estudio.

La predicción de la contaminación atmosférica provocada por el tráfico que circulará por la vía decidió realizarse utilizando el modelo de dispersión de contaminantes CALINE 4.

Se realizaron tres corridas del CALINE 4 obteniéndose los valores de concentración de monóxido de carbono en 54 receptores ubicados a lo largo del trazado de la nueva autopista y los intercambios. Los puntos fueron colocados sobre un plano en el cual se había ubicado la virtual autopista procediéndose posteriormente a obtener las isolíneas de igual concentración mediante un programa de interpolación en este caso SURFER (GSI, 1994).

Existe un grupo de receptores cuyos valores de concentración sobrepasan los límites admitidos por la norma cubana (NC 93-02-202,1987), sin embargo los ángulos de dirección del viento en que se producirán son muy poco probables.

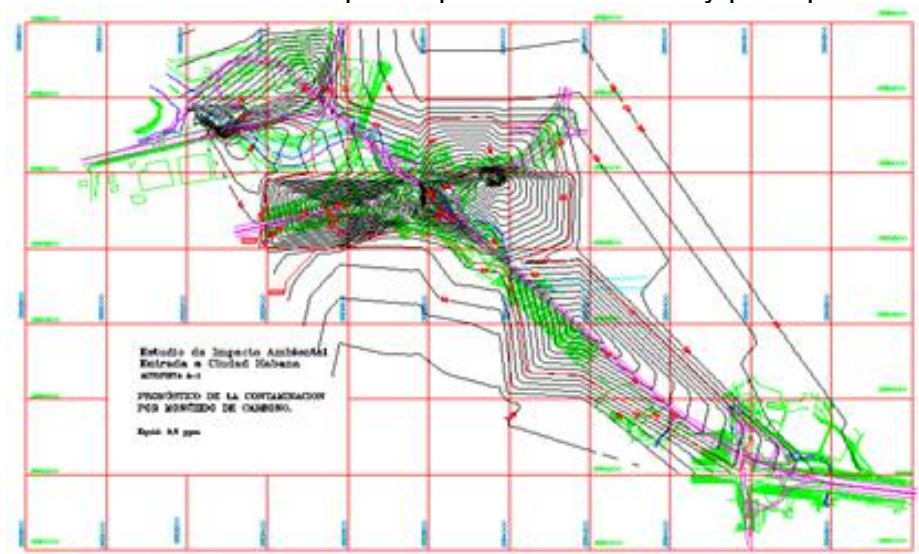


Figura 3. Resultado de la modelación de la contaminación por monóxido de carbono para la vía caso de estudio.

A partir del plano de predicción, en el cual se ubicó la curva correspondiente al valor límite de la norma, se estableció un radio de protección sanitaria de aproximadamente 120m a partir del eje de la autopista. Sin embargo es bueno señalar que las peores condiciones de estabilidad atmosférica se producirán con escasa probabilidad del orden de 6%. Por esta razón se decidió hacer una nueva modelación considerando las condiciones meteorológicas más probables, velocidad del viento promedio 5m/s, temperatura media 27°C, dirección del viento predominante del este y clase de estabilidad 5, obteniéndose que para ningún receptor se sobrepasó el límite establecido. No se consideró necesario proponer el radio de protección sanitaria de 120m debido a la escasa probabilidad de que se produzcan las altas concentraciones modeladas en los receptores que lo definen.

3.2 Diseño de vías en áreas ecológicamente sensibles

Se regula también el diseño de vías en áreas ecológicamente sensibles, estableciéndose la estrategia de planificación vial y los parámetros de diseño geométrico de las vías sobre la base de la aptitud de acogida del territorio. El diseño geométrico cambia conceptualmente sus criterios con respecto al diseño convencional. Está orientado a fijar de antemano los indicadores ambientales en valores aceptables para el territorio y a partir de éstos calcular los parámetros de tráfico necesarios para el diseño geométrico de la red vial. (H Álvarez)

Los criterios de diseño son:

1. Niveles de ruido a los lados de la carretera por debajo de un nivel establecido que estará en función de la fragilidad del ecosistema sobre el que se realizará la actuación.
2. Niveles de contaminación atmosférica por debajo de valores establecidos en función de la fragilidad del ecosistema.
3. Velocidad de diseño en función de lograr la mejor adaptación a las características del relieve y del paisaje.
4. Indicadores de flora y fauna.

3.2.1 Análisis del diseño a partir del indicador de calidad del aire.

A partir del modelo de previsión de la calidad del aire se determinó para los valores de número de vehículos calculados por los criterios de ruido los niveles de contaminación por monóxido para tiempo promedio una hora en los laterales de la vía, considerando la vía a nivel del terreno y el peor caso de condiciones meteorológicas.

En la tabla 1 se muestran los niveles calculados de concentración por monóxido en función del tráfico. Los valores obtenidos son bajos y no sobrepasan en ningún momento las concentraciones máximas admisibles C_{ma} establecidas por la Norma Cubana Atmósfera. Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios (NC 93-02-202, 1987).

Los valores límites de contaminación por monóxido a utilizar pueden ser determinados en función de la mayor o menor receptividad de las especies presentes en el entorno.

Tabla 1 Niveles de contaminación por monóxido en función del tráfico.

PAIDT (veh/día)	IHD (veh/h)	CO (mg/m ³)
100	12	<1,5
300	36	<1,5
500	60	1,76
700	84	1,99
800	96	2,80

3.3 Análisis de la Congestión.

Reducir la congestión tiene también como consecuencia disminuir las emisiones de contaminantes atmosféricos, en especial los gases de efecto invernadero.

En la actualidad el tema del impacto ambiental desde el punto de vista del tránsito puede ser analizado profundamente gracias a los avances informáticos, ya que existen varios software creados para este uso.

A pesar de que en Cuba es difícil hacer mediciones de contaminantes atmosféricos en general se utiliza la predicción haciendo uso de un modelo computacional, calculándose las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por fuentes móviles, así como la dispersión de los mismos en el entorno.

El programa CALINE3.QHC que es el comúnmente utilizado permite evaluar para una red de receptores los valores de inmisión de los contaminantes atmosféricos pudiendo llegar a obtener a través del mismo el grado de contaminación atmosférica como indicador de impacto así como los radios de protección sanitaria para la o las vías en cuestión. El modelo permite calcular la concentración total de contaminantes en el aire tanto de vehículos en movimiento como en ralentí. Es una herramienta confiable para predecir las concentraciones de contaminantes inertes en el aire cerca de intersecciones señalizadas. Debido a que las emisiones en ralentí representan una parte importante del total de las emisiones en las intersecciones, el modelo en cierta medida obvia la velocidad del tráfico, parámetro difícil de predecir con un alto nivel de precisión en carreteras urbanas congestionadas si no se realiza un esfuerzo considerable para recopilar datos.

3.3.1 Caso de Estudio para el análisis de la congestión.

La intersección de Vento y Calle 100 presentaba altos niveles de congestión, agravados en la hora pico de la mañana, sobre todo en el acceso de Calle 100 proveniente del Parque Lenin. Se permitían todos los movimientos por acceso, por lo que la intersección trabajaba con cuatro fases y un tiempo de ciclo excesivo, 110 segundos, lo que generaba colas y demoras excesivas por todos los accesos, a lo que se suma los volúmenes de tránsito elevados que arriban a la intersección que sobrepasaban la capacidad para el plan de fases diseñado. Estos aspectos se muestran en la tabla 2. (L Alba, H Álvarez, S Pire, 2009).

Para la modelación del caso de estudio a través del software CALINE 3. QHC se necesitaron introducir datos que fueron extraídos del programa TRAFFICWARE, es decir este software sirvió de base para la modelación y análisis en el nuevo programa.

Tabla 2 Parámetros de la circulación en la intersección.

Accesos	Móv.	Demora (s/veh)	NS	v/c	Longitud promedio de la cola (m)	No promedio Vehículos que paran (veh/h)
P. Lenin	Recto	695,0	F	2,48	180,0	590
	Der.	64,4	E	0,56	14,2	59
Marianao	Todos	48,6	D	0,79	60	469
Boyeros (Vento)	Todos	187,2	F	1,33	191,4	907
Camagüey	Todos	104,5	F	1,05	53,5	341

La intersección analizada la conforman cuatro accesos. Eje central (453;362)

- Extremo Este (679;363)
- Extremo Oeste (244;362)
- Extremo Norte (498;441)
- Extremo Sur (357;197)

Se consideró por cada acceso el sentido del tránsito teniendo en cuenta cual es libre y cual presenta cola. Al introducir datos al programa 8 tipos de tramos de los cuales se tomaron datos como el volumen de vehículos para cada tramo y las coordenadas inicial y final indicando el sentido del tramo.

En los tramos con cola además de la información anterior, se hace necesario introducir otros tales como ciclo del semáforo, el tiempo de rojo y el tiempo de amarilla.

Un dato fundamental en para el procesamiento del caso de estudio en este software es el factor de emisión. Para el cumplimiento de esta etapa, se utilizan los valores aportados el modelo IVE (International Vehicle Emissions Model), por tratarse de un modelo relativamente sencillo, validado mediante su aplicación en un número importante de ciudades de todo el mundo.

Es necesario un fichero meteorológico que se obtiene de datos brindados por el Instituto de Meteorología en el cual se registra la dirección del viento en grados. También ofrece como información la velocidad registrada de los vientos así como la clase de estabilidad atmosférica.

En la Tabla 3 se brindan los datos que ofrece el CALINE 3. QHC de los valores máximos de concentración para algunos de los receptores ubicados y con las características de la intersección analizada:

Tabla 3 Datos del CALINE QHC.

# de Receptores.	Conc Máxima (mg/m3)	# de Receptores	Conc Máxima (mg/m3)	# de Receptores	Conc Máxima (mg/m3)
1	11,4	5	0,76	9	0,52
2	1,8	6	16,99	10	0,62
3	0,53	7	3,27	11	3,05
4	0,64	8	0,44	12	1,27

De los valores expuestos en la Tabla 3 se puede confeccionar el área crítica según las emisiones del monóxido de carbono en la intersección analizada a partir de lo planteado en la Norma Cubana 39-02-202 donde el valor máximo instantáneo admisible de este contaminante es de 5 Mg/m^3 , por tanto toda aquella área que encierre la curva de este valor puede definirse como área crítica, lo que se muestra en la figura 4

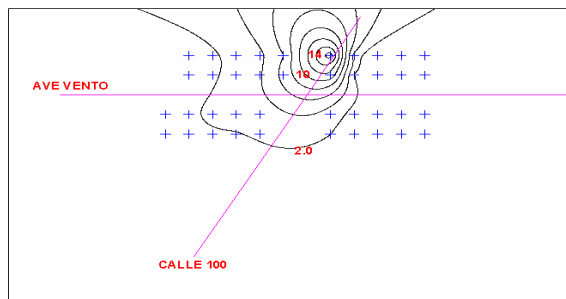


Figura 4. Isolíneas de concentración de monóxido de carbono en la intersección de estudio.

Aplicando la fórmula para determinar la concentración normalizada (K_i), y utilizando el mayor valor de concentración instantánea se obtiene el siguiente resultado:

$$K_i = \frac{C_i}{C_{mai}(d)} = 16.99/3^* = 5.66$$

Con este valor de K_i , grado de peligrosidad 4 y concentración instantánea entrando en la Tabla de la Norma clasifica la zona contaminada como ligera.

Las medidas tomadas consisten fundamentalmente en la eliminación de varios movimientos en la intersección, que permiten disminuir las fases de cuatro a tres y el tiempo de ciclo de 110 a 80 segundos, para ello se propone además, modificar la organización del tránsito en la zona, semaforizando las dos intersecciones aledañas, que trabajarían en un grupo de control, o sea tres intersecciones semaforizadas regidas por un mismo centro, aspecto que se muestra en la figura 5 mediante un croquis de la zona. Los parámetros de la circulación obtenidos para esta condición se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Parámetros de la circulación en la intersección con las medidas propuestas.

Accesos	Mov.	Demora (s/veh)	NS	v/c	Long prom de la cola (m)	No promedio Vehículos que paran (veh/h)
P. Lenin	todos	14,8	B	0,61	48,1	53
Marianao	todos	35,8	D	0,89	35,8	84
Boyerros (Vento)	todos	53,3	D	1,02	53,3	91
Camagüey	todos	30,9	C	0,53	24,1	56

En los resultados de la tabla anterior puede observarse las mejoras obtenidas en la calidad de la operación, donde disminuye notablemente la longitud de las colas, los vehículos que paran y las demoras, aunque el parámetro de utilización de la capacidad se mantiene alto por el acceso de Vento proveniente de Boyeros, situación que solo debe

mantenerse durante la hora pico. Una vez tomadas las medidas de gestión de la movilidad en aras de disminuir la congestión se modeló también la intersección en el CALINE 3. QHC con las nuevas restricciones y los nuevos datos. Se mantuvo la posición de los receptores.

Tabla 5. Resultados obtenidos del CALINE QHC.

# de Receptor	Conc Máxima (mg/m ³)	# de Receptor	Conc Máxima (mg/m ³)	# de Receptor	Conc Máxima (mg/m ³)
1	1,85	5	0,41	9	0,24
2	0,74	6	2,89	10	0,3
3	0,33	7	0,25	11	0,84
4	0,39	8	0,25	12	0,61

De los valores expuestos en la Tabla 5 se puede confeccionar el área crítica según las emisiones del monóxido de carbono en la intersección analizada.

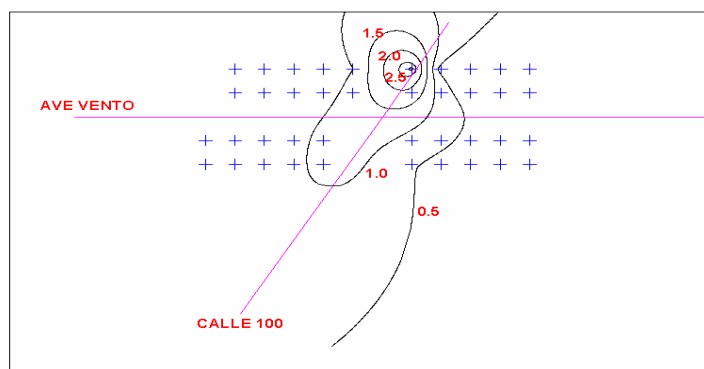


Figura 5. Isolíneas de concentración de monóxido de carbono para la solución propuesta.

Como se puede observar en la Figura 5 no existe ninguna isolínea de 5 Mg/m³, por tanto no aparece área contaminada. Para el Caso de Estudio, Intersección Avenida Vento y Calle 100, en el escenario antes de la toma de medidas, el aire se encuentra contaminado en un área cercana a la intersección con nivel ligero. Después de tomadas las medidas se considera que se elimina la contaminación del aire pues el valor máximo de inmisión en ningún receptor sobrepasa el valor de 5 mg/m³ que el límite establecido en la norma.

4. CONCLUSIONES.

Aunque la contribución de Cuba al calentamiento global y a las emisiones de gases de invernadero es muy reducida, se le ha brindado una especial atención a este problema al igual que al cumplimiento de los compromisos contraídos como Parte de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Tomando como referencia los resultados que arrojó el último inventario realizado en 2004, la emisión de gases que provocan el efecto invernadero es reducida en comparación con los países industrializados. «Los valores registrados son típicos y aceptables para nuestro nivel de desarrollo»,

En la esfera del transporte, aunque el parque vehicular cubano es reducido y su aporte a la contaminación global pequeño, se toman en cuenta tanto para la planificación, el diseño, y la organización del tráfico, aspectos de la contaminación atmosférica que provoca así como su aporte a la emisión los Gases de Efecto Invernadero.

En Cuba se acomete, desde hace años, la vigilancia sistemática de las emisiones y remociones de los GEI. Esta actividad la desarrolla el Equipo Técnico de Gases de Efecto Invernadero coordinado por el Instituto de Meteorología, y con la participación de especialistas de diferentes instituciones y organismos del país.

5. REFERENCIAS.

1. Alba Menéndez Liliana, Álvarez Goris, Haydée, Pire rivas Saturnino Indicadores para la evaluación del impacto ambiental sobre la calidad del aire provocado por la congestión en vías urbanas. IX Encuentro Iberoamericano de Arquitectas, Ingenieras y Agrimensoras, 2009.
2. Álvarez Goris, Haydée Indicadores Ambientales Básicos para el diseño de carreteras sobre bases sostenibles. Tesis en opción de Doctor en Ciencias Técnicas, Ciudad de la Habana 2000.
3. Comité Estatal de Normalización: Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente. NC 93-02-202. Atmósfera. Requisitos higiénicos sanitarios: Concentraciones máximas admisibles, alturas mínimas de expulsión y zonas de protección sanitaria. La Habana, 1987,89 pp.
4. Comité Estatal de Normalización: Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente. NC 39. Atmósfera. Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios. La Habana, 1999,5 pp.
5. Comité Estatal de Normalización: Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente. NC 93-02-104. Atmósfera. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire. La Habana, 1986, 9 pp.
6. Ministerio de la Construcción. Regulación de la Construcción 8007. Procedimiento para el análisis ambiental de Proyecto vial. La Habana, 2000.
7. Ministerio de la Construcción. Regulación de la Construcción 8008. Diseño de vías en áreas ecológicamente sensibles. La Habana, 2000.

ANEXO 1

NORMAS CUBANAS RELACIONADAS CON CALIDAD DEL AIRE.

- NC39: 99: Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios.
- NC93-02-102:87: Términos y definiciones.
- NC93-02-103:87: Clasificación y simbología de las expulsiones según sus características.
- NC93-02-104:86: Reglas para la vigilancia de la calidad del aire
- NC93-02-105:85: Instrumentos para el muestreo del aire en los asentamientos humanos. Requisitos técnicos generales.
- NC93-02-106:86: Métodos de determinación de los contaminantes. Requisitos generales.
- NC93-02-203:86: Requisitos generales para el muestreo del aire.
- NC93-02-207:87: Determinación del contenido de hollín.
- NC93-02-208:86: Determinación del índice de corrosividad.
- NC93-02-209:86: Determinación del índice de sulfatación.
- NC93-02-212:87: Determinación del dióxido de nitrógeno.
- NC93-02-213:86: Determinación del dióxido de azufre.
- NC93-02-214:8: Expulsiones de sustancias nocivas, por automóviles, tractores y máquinas autopropulsadas agrícolas y de la construcción. Términos y definiciones.