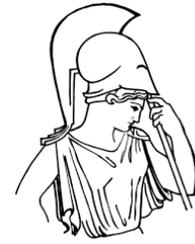




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS



MAPA DE RIESGO EN CASO DE UN ACCIDENTE AÉREO EN LA APROXIMACIÓN A LAS PISTAS
05 DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA PRESENTA:

HUGO EDMUNDO COLÍN SÁNCHEZ

ASESOR: DR. LUIS CHIAS BECERRIL.

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D. F. 2015.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A YAZMÍN

La persona más importante en mi vida
y sin cuyo apoyo e impulso este proyecto no hubiera sido posible.

A RODRIGO

La razón que me alienta a seguir adelante.

A MIS PADRES:

Arturo y Estela.

A MIS HERMANOS:

Erick y Liliana.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
Capítulo 1. EL RIESGO Y LOS ACCIDENTES AÉREOS.....	10
1.1 Los elementos componentes del riesgo.....	10
1.2 Mapas de riesgo y riesgos tecnológicos.....	13
1.3 Los accidentes aéreos.....	17
<i>1.3.1 Causas de los accidentes de aviación.....</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2 Los riesgos en los escenarios de accidentes aéreos.....</i>	<i>22</i>
<i>1.3.3. Los costos de los accidentes aéreos.....</i>	<i>25</i>
1.4 La investigación de los accidentes aéreos.....	28
<i>1.4.1 El proceso de investigación de accidentes.....</i>	<i>28</i>
<i>1.4.2 Agentes encargados de la investigación de accidentes aéreos.....</i>	<i>32</i>
Capítulo 2. LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM), EL TRANSPORTE AÉREO Y LOS RIESGOS DE LA NAVEGACIÓN AÉREA.....	35
2.1 La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).....	35
2.2 La ZMVM y sus requerimientos de transporte aéreo.....	37
<i>2.2.1 El Sistema Metropolitano de Aeropuertos (SMA).....</i>	<i>38</i>
<i>2.2.2 La relevancia del AICM en la zona centro del país.....</i>	<i>43</i>
2.3 El AICM como un factor de riesgo en la ZMVM.....	47
<i>2.3.1 Las etapas críticas de la navegación aérea.....</i>	<i>48</i>
<i>2.3.2 Las operaciones de aproximación de las aeronaves en el AICM.....</i>	<i>52</i>
<i>2.3.3 La vulnerabilidad de la ZMVM como consecuencia de las operaciones de aproximación en el AICM.....</i>	<i>56</i>
Capítulo 3. LA PROBLEMÁTICA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO (AICM). CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN QUE PUEDEN ELEVAR EL RIESGO DE UN ACCIDENTE AÉREO.....	60
3.1 Evolución del espacio destinado para la operación de aeronaves en la Ciudad de México.....	60
<i>3.1.1 Evolución del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.....</i>	<i>62</i>
<i>3.1.2 El AICM en la actualidad.....</i>	<i>65</i>

3.2	Condiciones actuales de operación en la aproximación al AICM que pueden elevar el riesgo de un accidente aéreo.....	68
3.2.1	<i>El número de operaciones aéreas en el AICM.</i>	69
3.2.2	<i>La cercanía del área urbana al AICM.</i>	73
3.2.3	<i>El uso predominante de las pistas 05 en el AICM.....</i>	77
3.2.4	<i>El tipo de aeronaves que operan en el AICM.</i>	84
3.3	La temporalidad en las operaciones aéreas en el AICM.	89
3.3.1	<i>Operaciones aéreas por mes en el AICM.</i>	90
3.3.2	<i>El comportamiento semanal de las operaciones aéreas en el AICM.</i>	92
3.3.3	<i>La actividad aérea por hora en el AICM.</i>	93
Capítulo 4. MAPA DE RIESGO EN CASO DE UN ACCIDENTE AÉREO EN LA APROXIMACIÓN A LAS PISTAS 05 EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.		
4.1	Delimitación del área de peligro.....	97
4.1.1	<i>Delimitación geográfica de la fase de aproximación final a las pistas 05.</i>	98
4.2	Evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica.....	105
4.3	Determinación cuantitativa de los elementos expuestos en el polígono de riesgo.	109
4.4	Resultados del análisis de vulnerabilidad.....	110
4.5	Elaboración cartográfica del mapa de riesgo en caso de un accidente aéreo en la aproximación a las pistas 05 en el AICM.....	121
4.5.1	<i>Definición de la unidad espacial.</i>	121
4.5.2	<i>Determinación cualitativa de las variables en las unidades espaciales.</i>	123
4.5.3	<i>Elaboración cartográfica del mapa de riesgo.</i>	128
4.5.4	<i>El comportamiento habitual de las operaciones de aproximación a las pistas 05 en el AICM.</i>	132
CONCLUSIONES.....		141
BIBLIOGRAFÍA.....		147

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1 Volumen del tráfico mundial: 2005 – 2010.....	17
Figura 1.2 Número de accidentes 2005 – 2010.....	18
Figura 1.3 Principales causas de los accidentes aéreos en el periodo 1959 – 1999.....	21
Figura 2.1 Zona Metropolitana del Valle de México.....	36
Figura 2.2 Operaciones aéreas en los aeropuertos del SMA.....	41
Figura 2.3 Pasajeros transportados en los aeropuertos del SMA	43
Figura 2.4 Accidentes fatales y muertes a bordo de aeronaves comerciales por fase de vuelo	51
Figura 2.5 Fase de aproximación a la pista 05D	54
Figura 2.6 Fase de aproximación a la pista 23I.....	55
Figura 2.7 El impacto urbano en el Aeropuerto de la Ciudad de México.....	58
Figura 3.1 Aeródromo Nacional de Balbuena en 1947.....	61
Figura 3.2 Pistas con que contaba el Puerto Central en 1957.....	63
Figura 3.3 El AICM y sus etapas de ampliación desde 1928.....	65
Figura 3.4 Plano general del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.....	67
Figura 3.5 Tendencia y operaciones aéreas en el AICM (1967 - 2011).....	69
Figura 3.6 Operaciones aéreas y actividad volcánica en el AICM. 21 de febrero de 2003.....	72
Figura 3.7 Aeropuerto de la Ciudad de México en 1962.....	75
Figura 3.8 Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México en el año 2009.....	75
Figura 3.9 Aproximaciones frustradas por pista.....	79
Figura 3.10 Trayectoria de aproximación a las pistas 05.....	81
Figura 3.11 Aproximación corta a la pista 05R. Diciembre 15, 2002.....	83
Figura 3.12 Aproximación corta a la pista 05R. Agosto 29, 2012.....	83
Figura 3.13 Operaciones diarias en el AICM durante el mes de diciembre de 2010.....	92

Figura 3.14 Operaciones promedio por hora en el AICM. Año 2006.....	95
Figura 3.15 Operaciones promedio por hora en el AICM. Año 2007.....	96
Figura 4.1 Corte del área de tramo en línea recta, indicando las áreas de protección primaria y secundaria.....	99
Figura 4.2 Aproximación final con áreas primaria y secundaria.....	102
Figura 4.3 Delegaciones y Municipios dentro del polígono de riesgo.....	104
Figura 4.4 Total de habitantes dentro del polígono de riesgo. 2010.....	114
Figura 4.5 Hospitales y clínicas dentro del polígono de riesgo.....	115
Figura 4.6 Escuelas dentro del polígono de riesgo.....	116
Figura 4.7 Red vial dentro del polígono de riesgo.....	118
Figura 4.8 Gasolineras dentro del polígono de riesgo.....	120
Figura 4.9 Definición de unidades espaciales.....	122
Figura 4.10 Mapa de riesgo en caso de un accidente aéreo en la aproximación a las pistas 05.....	130
Figura 4.11 Imagen de radar de la fase de aproximación final a la pista 05 del AICM.....	134
Figura 4.12 Cono de riesgo en caso de un accidente aéreo en la aproximación a las pistas 05.....	137

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1.1 Riesgos potenciales en un escenario de accidente aéreo.....	23
Cuadro 2.1 Operaciones aéreas en los aeropuertos del SMA.....	41
Cuadro 2.2 Pasajeros transportados en los aeropuertos del SMA.....	42
Cuadro 2.3 Principales orígenes - destinos del transporte aéreo en México.....	44
Cuadro 2.4 Coordenadas de los fijos de la fase de aproximación al AICM.....	54
Cuadro 3.1 Tipos y características de las aeronaves que operan diariamente en el AICM....	85
Cuadro 3.2 Operaciones aéreas mensuales en el AICM 2005 – 2012.....	91
Cuadro 4.1 Ubicación geográfica de los puntos extremos en el polígono de riesgo.....	103
Cuadro 4.2 Infraestructura hospitalaria dentro del polígono de riesgo.....	111
Cuadro 4.3 Infraestructura escolar dentro del polígono de riesgo.....	113
Cuadro 4.4 Infraestructura vial dentro del polígono de riesgo.....	119
Cuadro 4.5 Presencia de las variables por unidad espacial.....	124
Cuadro 4.6 Rangos de las variables.....	125
Cuadro 4.7 Códigos y frecuencias de las unidades espaciales.....	127
Cuadro 4.8 Determinación de niveles de riesgo en base a los rangos.....	129

INTRODUCCIÓN.

La industria del transporte aéreo desempeña un papel fundamental dentro de las actividades económicas del país debido a la rapidez y eficiencia con que puede transportar pasajeros, carga, bienes y mercancías a través de grandes distancias, tanto dentro como fuera del país. Como consecuencia de la globalización, los requerimientos de un transporte aéreo cada vez más rápido, seguro y eficiente han ido en aumento en los últimos años, lo que ha generado que la oferta de servicios aéreos y, por lo tanto, de operaciones aéreas, se haya incrementado de forma considerable, sobre todo en los aeropuertos que sirven a los grandes centros urbanos del país.

Para un alto porcentaje de la población que habita en los centros urbanos puede pasar desapercibida la gran cantidad de aeronaves que sobrevuelan las grandes ciudades y lo complejo que resulta mantener un flujo constante de aviones aterrizando y despegando de un aeropuerto. Se requiere de una gran inversión en infraestructura y de personal altamente calificado para mantener el flujo de las operaciones aéreas funcionando de forma eficiente, pero sobre todo, de forma segura.

Con el fin de lograr el objetivo de la seguridad en el transporte aéreo, existe una normatividad internacional propuesta por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), que es aplicada de forma estricta por todos y cada uno de los países que integran dicho organismo, lo que ha repercutido en altos estándares de seguridad que permiten afirmar, en base al reducido número de accidentes que se presentan en el sector aéreo, que el avión es el medio de transporte más seguro del mundo.

Sin embargo, el sector del transporte aéreo no está exento de la posibilidad de que se presenten accidentes. De acuerdo con los reportes de análisis de accidentes aéreos llevados a cabo por la OACI y por compañías fabricantes de aeronaves, alrededor del 60% de los accidentes aéreos se presentan durante las fases de despegue y aterrizaje, lo que significa que el mayor porcentaje de los accidentes aéreos ocurren en el aeropuerto o en sus inmediaciones. Esta situación ha llevado a reflexionar sobre la importancia de la ubicación actual de los aeropuertos por las repercusiones que un accidente en sus inmediaciones pudiera traer consigo.

Desde esta perspectiva, el caso del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) se presenta como un caso de estudio de las consecuencias que un accidente aéreo en sus inmediaciones pudiera provocar. Con un promedio cercano a las 1,000 operaciones diarias, el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México es el aeropuerto más importante del país y el primero en América Latina en lo que se refiere al número de operaciones aéreas,

con lo que satisface las necesidades de transporte aéreo de la Zona Metropolitana del Valle de México, la más grande y poblada zona metropolitana del país.

Durante el año 2011 el AICM atendió poco más de 350,000 operaciones aéreas, lo que significa que las 24 hrs del día el aeropuerto y sus alrededores presentan un constante flujo de aeronaves en operaciones de aterrizaje y despegue. Además, si tomamos en cuenta la orientación de las pistas del aeropuerto y los vientos predominantes en el Valle de México encontramos que, en promedio, durante un año entre el 85 % y 90 % de las operaciones aéreas en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México se llevan a cabo utilizando las pistas 05 izquierda y 05 derecha.

El caso específico de las operaciones de aterrizaje cobra importancia debido a que la trayectoria empleada por las aeronaves durante el último tramo de su vuelo, utilizando las pistas 05, se encuentra ubicada sobre una extensa área urbana del Estado de México y del Distrito Federal, lo cual significa que un gran número de población, infraestructura, equipamientos e instalaciones estratégicas son sobrevoladas todos los días por aeronaves en una fase de su vuelo considerada como crítica.

Si bien la posibilidad de que se presente un accidente aéreo es baja, es un fenómeno que se ubica en el presente y que se mantendrá vigente en tanto el tráfico aéreo continúe en aumento y el aeropuerto mantenga su presente ubicación y siga prestando servicios con una infraestructura obsoleta y rebasada en su capacidad.

El objetivo de la presente tesis es identificar y delimitar en la superficie la trayectoria que sobrevuelan las aeronaves en la fase final de aproximación hacia las pistas 05 del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, y tratar de identificar cuáles serían los posibles impactos y repercusiones que la eventual ocurrencia de un accidente aéreo en este espacio pudieran traer consigo, con la intención de que un la identificación de las posibles afectaciones sirva de punto de partida para la elaboración e implementación de un plan de contingencia, que permita minimizar o mitigar los posibles efectos de un accidente aéreo.

1.1 Los elementos componentes del riesgo.

El desarrollo de la investigación y la cartografía enfocada en el tema de riesgos y amenazas que pueden llevar a desencadenar un desastre, constituyen una línea de trabajo dentro de la geografía que ha encontrado oportunidades de aplicación, principalmente, en la planificación en caso de emergencias, en donde el trabajo cartográfico está orientado a organizar la respuesta ante una catástrofe y en la ordenación del territorio, en donde el objetivo está centrado en la prevención de los sucesos catastróficos.

Debido a que la aplicación que se puede dar a los trabajos de investigación sobre riesgos puede tener una gran relevancia en ámbitos sociales, económicos y ambientales, existe una abundante literatura que aborda el tema que ha desarrollado conceptos ampliamente utilizados por los investigadores en la materia; así, términos como riesgo, peligro, amenaza y desastre son comúnmente utilizados en el análisis de riesgos. Sin embargo, a pesar del uso generalizado de estos conceptos, existen confusiones que en algunas fuentes vinculan un mismo término con significados distintos, mientras que otras fuentes proponen el mismo significado para términos diferentes. Esta situación puede, en ocasiones, obstaculizar la comprensión sobre el tema, lo que hace necesario precisar de forma adecuada cada uno de estos términos. (Aneas de Castro, 2000).

El concepto de riesgo es el resultado que refleja las diferentes perspectivas y enfoques de distintas disciplinas académicas que han evolucionado a lo largo de los años. Dentro de la investigación sobre riesgo y desastres se pueden identificar tres enfoques: el enfoque de las ciencias naturales, el enfoque de las ciencias aplicadas y el enfoque de las ciencias sociales, cuyos aportes se fueron complementando para definir el concepto de riesgo.

Las ciencias naturales dominaron los primeros trabajos sobre riesgo y consideraban los desastres como una consecuencia directa de eventos físicos extremos llamados desastres naturales. El modelo de riesgo era básicamente un modelo de amenaza en donde un sismo, erupción volcánica, huracán o cualquier otro evento extremo era en sí mismo un desastre, y donde la magnitud del desastre era consecuencia directa de la severidad e intensidad del evento físico. Como resultado, las investigaciones de los desastres se centraban exclusivamente en el estudio de los procesos geológicos, meteorológicos, hidrológicos y otros procesos naturales que generaban amenazas. El objetivo de los trabajos se enfocaba en lograr predecir con la mayor exactitud posible la ocurrencia de los desastres, para lo cual era necesario determinar la ubicación y distribución espacial de las amenazas, su frecuencia

y periodicidad espacial y su magnitud e intensidad. Desde el enfoque de las ciencias naturales los desastres eran eventos irregulares y anormales desvinculados totalmente de la sociedad. (Maskrey, 1998).

Por otro lado, desde el punto de vista de las ciencias aplicadas se introdujo el concepto de vulnerabilidad y se desarrolló la idea de que para producirse un desastre tenía que haber un impacto medible en el medio ambiente, sociedad o economía donde se manifiesta la amenaza. La investigación se amplió hacia las pérdidas y daños asociados con las amenazas y se reconoció que éstas y sus efectos presentaban grandes irregularidades en el espacio y tiempo. El enfoque de las ciencias aplicadas, si bien seguía considerando los desastres como eventos anormales y extraordinarios que afectaban a la sociedad, difería del enfoque de las ciencias naturales en el hecho de que las investigaciones se centraban en el impacto y efecto de los eventos asociados a las amenazas, y no en el evento en sí mismo. (Maskrey, 1998).

Por tal motivo el objetivo de muchas investigaciones en el campo de las ciencias aplicadas se ha enfocado en el diseño de medidas estructurales y preventivas para mitigar las pérdidas causadas por eventos extremos y lograr que la sociedad sea más segura. Además, este enfoque reconoce la existencia de responsabilidades sociales y políticas en la implementación de medidas encaminadas a reducir los riesgos.

Por último, el enfoque de las ciencias sociales enfatizaba que los desastres no sólo eran resultado de causas naturales sino también humanas y se enfocaron en la percepción social de las amenazas y la forma en cómo dichas percepciones influían en las decisiones que tomaba una población o sociedad en particular para que su medio ambiente fuera más seguro o más peligroso. Consideraban el hecho de que las sociedades y comunidades expuestas a determinadas amenazas no eran homogéneas, por lo que la reacción de los diversos grupos sociales ante los riesgos y amenazas podía ser muy diferenciada. Por esta razón, se determinó que la vulnerabilidad era un valor de carácter social que no podía reducirse simplemente al grado de pérdida o daño que podía sufrir un determinado grupo expuesto a una amenaza. Este enfoque redefinió la vulnerabilidad como una condición socialmente producida en donde las pérdidas y los daños ocasionados por un evento extremo son el resultado de periodos de crisis en el ámbito social, económico y político de una sociedad. Desde este punto de vista, la vulnerabilidad se definió como una medida relativa de la capacidad de una población de absorber y recuperarse de un daño o pérdida determinada. (Maskrey, 1998).

Todas estas aportaciones fueron configurando la terminología que diversas disciplinas utilizan en el análisis de riesgos; sin embargo, aún persistían algunas confusiones en los diferentes ámbitos científicos debido a que no se adoptó una terminología de uso común que permitiera unificar los conceptos. Como resultado, existen muchos trabajos en donde

se utiliza el término riesgo como sinónimo de amenaza, mientras que otras fuentes citan el término de riesgo como sinónimo de vulnerabilidad. (Aneas de Castro, 2000).

Por esta razón, y con la intención de unificar criterios dentro del ámbito científico, en 1979 la UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization) desarrolló y propuso un modelo conceptual de riesgo que fuera preciso, que conjuntara y aclarara todos los conceptos que pueden estar incluidos dentro de este término y que permitiera unificar la definición de riesgo utilizada en las investigaciones sobre el tema. Así, la UNDRO definió el riesgo como una función expresada como:

$$R_t = E * R_s = E * H * V$$

Donde:

H (Hazard): Amenaza, peligro o peligrosidad. Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.

V (Vulnerability): Vulnerabilidad. Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño, a 1 o pérdida total.

R_s (Specific Risk): Riesgo específico. Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.

E (Elements at Risk): Elementos en riesgo. Son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.

R_t (Total Risk): Riesgo total. Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, es decir, el producto del riesgo específico (R_s) y los elementos en riesgo (E). (UNDRO, 1979 en Cardona, 2001).

A partir de esta propuesta se han desarrollado las investigaciones sobre el análisis de riesgos y, aún y cuando en muchos trabajos las definiciones presentadas no se emplean exactamente como fueron propuestas por la UNDRO, sí se basan en este modelo y la conceptualización es muy similar. En México, por ejemplo, se establece que la existencia de un riesgo implica la presencia de un agente perturbador (fenómeno natural o generado por el hombre) que tenga la probabilidad de ocasionar daños a un sistema afectable (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que constituya un desastre. (CENAPRED, 2006).

Una de las definiciones de riesgo utilizada en México es la propuesta por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, que define el riesgo como una función que depende de tres variables: 1) el peligro; 2) la vulnerabilidad y 3) la exposición; y la representa como una función matemática:

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligro}, \text{Vulnerabilidad}, \text{Exposición})$$

$$R = f(P, V, E)$$

Donde:

R: Riesgo. La probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores.

P: Peligro. La probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado.

V: Vulnerabilidad. Se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir el grado de pérdidas esperadas.

E: Exposición. Se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados. Es un parámetro que varía con el tiempo y está íntimamente ligado al crecimiento y desarrollo de la población y su infraestructura. (CENAPRED, 2006).

Si bien existe una pequeña diferencia de forma, aunque no de fondo en la definición de riesgo de la UNDRO y el CENAPRED, la importancia de aclarar estos conceptos constituye el primer paso para aplicar una metodología que permita hacer una valoración más adecuada del riesgo, lo que permitiría desarrollar herramientas útiles en materia de análisis y prevención de desastres.

1.2 Mapas de riesgo y riesgos tecnológicos.

La inquietud sobre los diversos fenómenos naturales o antropogénicos que rodean al ser humano, y que pueden afectar su entorno físico, social, económico, cultural y político, es un tema que ha preocupado a las sociedades desde la antigüedad. Esta situación ha cobrado mayor relevancia en los últimos años debido a la gran cobertura y eco que pueden hacer los medios de comunicación sobre los riesgos y peligros que amenazan al hombre, lo que ha generado que, además de las instancias gubernamentales y la comunidad científica, un

amplio porcentaje de la población en general, se interese por la forma como se producen y se manejan las situaciones de riesgo y desastre.

Hoy en día es cada vez más común observar a través de los medios de comunicación el impacto y los efectos que pueden tener sobre un territorio y su población fenómenos naturales como sismos, inundaciones, huracanes o erupciones volcánicas; o las graves consecuencias que traen consigo las catástrofes producidas por la actividad humana, que pueden generar graves daños, así como grandes pérdidas económicas y humanas.

Debido a que la diversidad de los fenómenos que pueden causar desastres en los asentamientos humanos es muy amplia, cada vez cobra mayor relevancia el desarrollo de herramientas que permitan establecer estrategias y programas de largo alcance enfocadas a prevenir y reducir los efectos de los desastres y, en caso de ser necesario, focalizar recursos para la atención de las emergencias provocadas por éstos.

En este sentido, los mapas de riesgo se han convertido en herramientas que permiten diagnosticar y valorar el riesgo al que pueden estar expuestos los asentamientos humanos y apoyar en el diseño y establecimiento de diversas medidas de mitigación y preparación con el objetivo de prevenir el posible impacto de los fenómenos naturales y antrópicos que influyen en el entorno.

De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres los mapas de riesgo son aquellos que representan gráficamente en una base cartográfica la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, su periodo de retorno e intensidad, así como la manera en que impacta en los sistemas afectables, principalmente caracterizados por la actividad humana (población, vivienda, infraestructura y agricultura). (CENAPRED, 2006).

Si bien, la elaboración de mapas de riesgo es una tarea compleja debido a que reflejan la interacción entre los fenómenos naturales y los sistemas sociales (la cual es una relación que cambia constantemente en el tiempo), la utilidad de los mapas de riesgo se manifiesta en diversos aspectos: en primer lugar, permiten identificar el riesgo que existe en un lugar específico y para una población específica; en segundo lugar, permiten ubicar espacial y temporalmente el peligro; y por último, facilitan la localización geográfica de la vulnerabilidad.

El primer paso para la elaboración de la cartografía de riesgos requiere de la identificación de los diversos fenómenos que pueden afectar una zona en particular para poder estimar las posibles consecuencias del fenómeno en el área de estudio. Debido a que la naturaleza de los fenómenos que pueden afectar una región determinada puede ser de orígenes muy diversos, es necesario identificar dichos fenómenos con la mayor precisión posible, con la

intención de elaborar el diagnóstico más adecuado ante las diversas situaciones que se pudieran presentar.

En México, el Sistema Nacional de Protección Civil ha clasificado, con base en su origen, los diversos fenómenos que pueden poner en situación de riesgo un área geográfica, identificando cinco tipos de agentes perturbadores (CENAPRED, 2001):

1. Fenómenos geológicos.
2. Fenómenos hidrometeorológicos.
3. Fenómenos químicos.
4. Fenómenos sanitario-ambientales.
5. Fenómenos socio-organizativos.

Los fenómenos geológicos e hidrometeorológicos engloban los eventos que se conocen como riesgos naturales, en función de que son producidos por la dinámica y los materiales de la superficie o del interior de la Tierra y por la acción violenta de los agentes atmosféricos, respectivamente. Mientras que los fenómenos químicos, sanitario-ambientales y socio-organizativos provocan lo que se conoce como riesgos antrópicos o tecnológicos, en virtud de que son el resultado de actividades tecnológicas, industriales o productivas llevadas a cabo por el hombre.

La cartografía de riesgos constituye una línea de trabajo ampliamente desarrollada dentro del ámbito geográfico internacional, sin embargo, existe una clara tendencia que muestra una mayor inclinación a la elaboración de trabajos de investigación enfocados en los riesgos naturales, mientras que las aportaciones en el área de los riesgos tecnológicos son más escasas. Quizá, una de las principales razones de la diferencia entre la cartografía de riesgos naturales y la de riesgos tecnológicos tiene que ver con la naturaleza y origen de estos últimos, que hace que su elaboración enfrente mayores dificultades de tipo práctico y metodológico, por lo que los avances en este rubro han sido menores.

El riesgo tecnológico hace referencia a la posibilidad de sufrir daños o pérdidas económicas, ambientales y humanas como consecuencia del funcionamiento deficiente o accidente de una tecnología aplicada en una actividad humana. (Bosque, 2004). Esta definición implica que en el análisis de riesgos tecnológicos sea fundamental conocer, por un lado, la probabilidad de un accidente, y por otro lado, la extensión del área que pudiera verse afectada por los efectos de un accidente. Poder definir de forma precisa ambos componentes implica todo un reto debido a que son cuestiones que responden a factores muy diversos y complejos, que tienen que ver con el fenómeno tecnológico en sí, y con una gran variedad de procesos que lo rodean.

A diferencia de la cartografía de los riesgos naturales en donde existen registros históricos y estadísticas más confiables que permiten, hasta cierto punto, definir la probabilidad de que un evento natural (inundación, huracán, sismo, etc.) se produzca, y en donde el medio físico, por sí mismo (topografía, tipo de suelo, características climatológicas, etc.), también puede ayudar a delimitar con cierta precisión el área susceptible de sufrir daños; en el caso de los riesgos tecnológicos, el hecho de que sean fenómenos que se pueden presentar de forma muy lenta, por lo que tardan bastante tiempo en ser advertidos por el hombre (lo que ocurre, por ejemplo, con la contaminación atmosférica), o de forma súbita e intempestiva (como el caso de accidentes aéreos o carreteros), implica que sea complicado para las instituciones contar con registros o estadísticas confiables y actualizadas para poder determinar la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos; además, en el caso de riesgos tecnológicos las condiciones y características del medio físico no necesariamente influyen en el hecho de que se presente una falla tecnológica que pudiera derivar en un desastre, lo que impide la delimitación precisa del área expuesta a este tipo de fenómenos.

Esta situación también se refleja en el alcance de los trabajos e investigaciones sobre riesgos, pues en lo que respecta a las investigaciones sobre riesgos naturales, éstas se han enfocado en la definición del territorio que puede ser potencialmente afectado y en la estimación de los posibles daños que se podrían presentar en dicho territorio. Para ello, los trabajos en este rubro se han centrado en los factores del medio físico que pueden provocar los desastres, en identificar con qué frecuencia se presentan y en la forma como la interferencia humana puede agravar las consecuencias de los desastres. (Bosque, 2004).

Mientras que en el caso de los trabajos relacionados con riesgos tecnológicos, debido a las limitantes teórico-prácticas y metodológicas para identificar claramente los factores de riesgo, delimitar con precisión el área expuesta y definir el alcance espacial que pudiera tener un posible accidente, los avances se han centrado básicamente en estudios sobre la vulnerabilidad territorial, poblacional y en la distribución espacial de instalaciones y/o actividades potencialmente peligrosas. (Bosque, 2004).

Esto lleva a que dentro del ámbito de la investigación de riesgos tecnológicos se vuelva fundamental la definición de lo que pueden ser consideradas como actividades peligrosas y la ubicación espacial de las mismas. Sin embargo, los trabajos en este sentido (Bosque, 2004) no han sido fáciles de concretar y encontrar una tipología general de instalaciones consideradas como peligrosas ha requerido de una búsqueda minuciosa por parte de los investigadores geógrafos.

Bosque (2004) propone la siguiente tipología de instalaciones consideradas potencialmente peligrosas que pueden derivar en un desastre tecnológico:

1. Infraestructuras para el almacenamiento y transporte de materias peligrosas: depósitos de combustible, oleoductos, gaseoductos, vías por las que circula el transporte de mercancías peligrosas y los cables de alta tensión.
2. Industrias que procesen sustancias consideradas como peligrosas.
3. Instalaciones para la gestión de residuos vertidos: incineradoras, plantas de tratamiento físico/químico, depósitos de seguridad de residuos tóxicos y peligrosos.
4. Grandes instalaciones de interés estratégico, como los aeropuertos.

Partiendo de esta clasificación, la ubicación de los aeropuertos se presenta como un caso de estudio, dentro del ámbito del análisis de riesgos tecnológicos, de las consecuencias y repercusiones que un accidente aéreo en un aeropuerto o en sus inmediaciones pudiera provocar.

1.3 Los accidentes aéreos.

Debido a que la industria del transporte aéreo desempeña un papel muy importante en la actividad económica de cualquier país, en los últimos años se ha presentado un incremento constante en el número de operaciones aéreas a nivel mundial. De acuerdo con la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en su informe más reciente sobre la aviación mundial, en el año 2010 el volumen total de vuelos comerciales regulares rebasó los 30 millones de operaciones en el mundo, lo que convirtió dicho año en el de mayor número de operaciones aéreas del periodo 2005 – 2010. (Figura 1.1)



Figura 1.1 Volumen del tráfico mundial: 2005 - 2010

Fuente: OACI. Situación de la seguridad operacional de la aviación mundial 2011

El incremento en el número de operaciones aéreas implica un mayor número de aeronaves operando tanto en los aeropuertos como en las rutas aéreas. Este aumento en la densidad del tráfico aéreo puede significar también, mayores probabilidades de sufrir un accidente en este medio de transporte. Sin embargo, pese al incremento significativo en el número de vuelos, el avión sigue siendo considerado el medio de transporte más seguro que existe en función del reducido número de accidentes que se presentan en esta industria en relación con el volumen de operaciones aéreas y cuando se le compara con otros medios de transporte. Las estadísticas sobre accidentes presentadas por la OACI sobre accidentes aéreos de vuelos comerciales regulares en el periodo 2005 – 2010 (Figura 1.2) muestran menos de 140 accidentes cada año. Sí este dato se compara con el volumen de operaciones aéreas en el mismo periodo da como resultado un índice de accidentes muy bajo, que en el año 2010, por ejemplo, se ubica en 4.0 accidentes por cada millón de salidas. (OACI, 2012).



Figura 1.2 Número de accidentes 2005 – 2010

Fuente: OACI. Situación de la seguridad operacional de la aviación mundial 2011

Si bien el índice de accidentes es extremadamente bajo el sector del transporte aéreo no está exento de la posibilidad de que se presenten accidentes, con la particularidad de que por sus características, este tipo de accidentes suelen ser muy impactantes, pues cuando una aeronave se precipita a tierra no solo pone en riesgo a las tripulaciones y pasajeros a bordo, sino que también involucra y puede poner en riesgo a la población, infraestructura y el medio ambiente del área geográfica donde se produce el accidente.

Las afectaciones ocasionadas por un accidente aéreo se pueden presentar de forma directa, resultado del impacto de una aeronave con el terreno, pero también de forma indirecta, pues en muchas ocasiones como consecuencia del accidente de un aeronave se pueden producir incendios y desprendimientos de parte del fuselaje y componentes de la aeronave que afectan áreas más extensas al sitio del impacto, con las posibles repercusiones y costos en vidas humanas, económicos y ambientales que esto pudiera traer consigo.

La definición de accidente aéreo propuesta por la OACI, si bien no sólo se limita a considerar como posibles víctimas a las personas a bordo de la aeronave e incluye posibles víctimas externas, no contempla ningún tipo de daños o afectaciones en la infraestructura o en el entorno del área donde se presenta un accidente:

“Accidente. Todo suceso, relacionado con la utilización de una aeronave, que ocurre dentro del período comprendido entre el momento en que una persona entra a bordo de la aeronave, con intención de realizar un vuelo, y el momento en que todas las personas han desembarcado, durante el cual:

- a) cualquier persona sufre lesiones mortales o graves a consecuencia de:
 - hallarse en la aeronave, o
 - por contacto directo con cualquier parte de la aeronave, incluso las partes que se hayan desprendido de la aeronave, o
 - por exposición directa al chorro de un reactor
- b) la aeronave sufre daños o roturas estructurales que:
 - afectan adversamente su resistencia estructural, su desempeño o sus características de vuelo; y
 - que normalmente exigen una reparación importante o el recambio del componente afectado,
- c) la aeronave desaparece o es totalmente inaccesible”. (OACI, 2001).

Fuera de los daños que pudiera presentar la aeronave involucrada en un accidente, la anterior definición no considera otros daños materiales, pero la realidad es que los peligros y afectaciones que se pueden presentar en un escenario de accidente aéreo pueden ser mucho mayores, especialmente si éste ocurre en áreas urbanas (como sería el caso en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México) en donde se pueden generar otro tipo de

riesgos debido a que como consecuencia del accidente se puede presentar la posible rotura de líneas de fuerza eléctrica, el escape de gas natural o gas propano, de combustible para calefacción o de otros líquidos o gases inflamables, y también se pueden convertir en un peligro potencial los edificios perjudicados estructuralmente debido a daños causados por incendio o el impacto.

1.3.1 Causas de los accidentes de aviación.

Los accidentes de aviación son evidencia de los peligros o deficiencias que existen en este medio, y aún y cuando estadísticamente el transporte aéreo presenta un reducido número de accidentes cada año, la OACI tiene como uno de sus principales objetivos la seguridad de las operaciones aéreas; por lo que destina una gran cantidad de recursos económicos, humanos y tecnológicos para investigar y determinar las causas que propician los accidentes aéreos con la intención de establecer programas de prevención cada vez más eficaces.

Por esta razón, la investigación de los accidentes y la determinación de sus causas es una prioridad para todos los agentes que conforman el medio aeronáutico. Sin embargo, determinar las causas que llevan a que se produzca un accidente con absoluta certeza no es una tarea sencilla, pues los accidentes no son consecuencia de un único factor en particular, sino el resultado de una serie de circunstancias y condiciones que se combinan de tal forma que pueden terminar generando un accidente.

En el caso particular del transporte aéreo factores como la aeronave, el aeropuerto, las condiciones meteorológicas, el control de tránsito aéreo, en conjunto con el factor humano, pueden concurrir de tal manera que, en un momento dado, pueden desencadenar un accidente.

De acuerdo con los resultados de las investigaciones las principales causas de los accidentes aéreos son atribuidas a las tripulaciones, la aeronave, las condiciones meteorológicas y, en menor medida, a las condiciones del aeropuerto, el control de tránsito aéreo, fallas en el mantenimiento y otras causas. (Figura 1.3).

Aún y cuando, como ya se mencionó anteriormente, no se puede atribuir a un solo factor la consecuencia de un accidente, el desarrollo de la investigación intenta determinar, de todos los factores involucrados, cuál fue el predominante en la consecución del accidente para definirlo como la causa principal. Aunque también es cierto que las investigaciones no siempre arrojan resultados lo suficientemente claros como para poder determinar las causas, por lo que existen algunas investigaciones (ICAO, 2003) en donde las conclusiones

determinan que las causas de los accidentes son desconocidas o no pudieron ser identificadas.

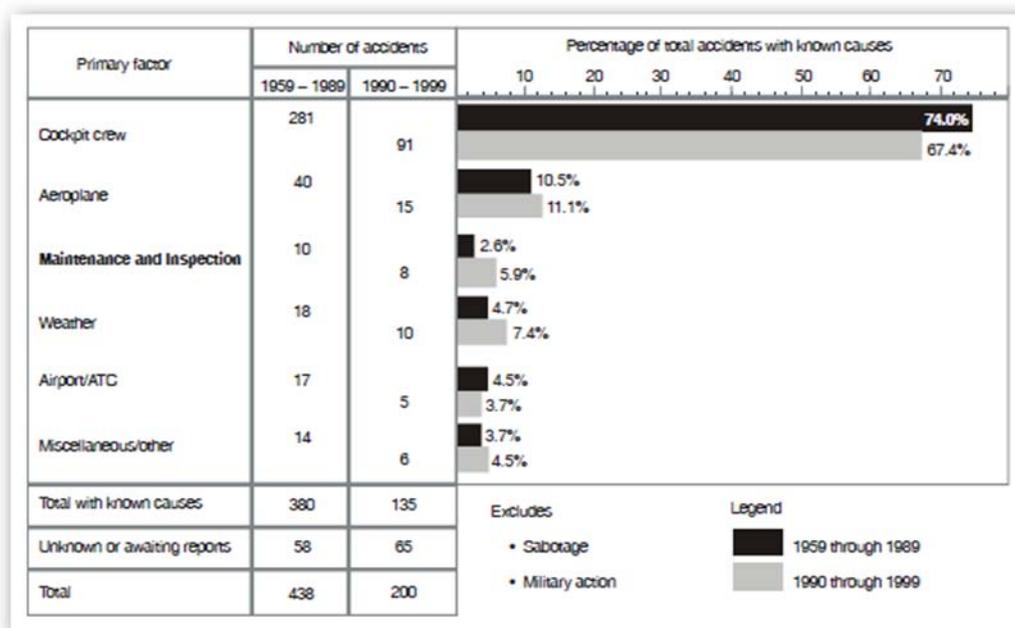


Figura 1.3 Principales causas de los accidentes aéreos en el periodo 1959 – 1999.
 Fuente: ICAO. Human Factors Guidelines for Aircraft Maintenance Manual. 2003

De las investigaciones donde se establece un factor predominante como consecuencia de un accidente se ha determinado que en más del 75% de los casos el factor humano es el principal factor que origina los accidentes, es decir, tres de cada cuatro accidentes son atribuidos a esta causa. Sin embargo, en el medio aeronáutico hay que ser muy cuidadoso al responsabilizar al factor humano debido a que en la industria de la aviación la interacción entre el elemento humano y la tecnología es sumamente compleja. Además, día con día se presentan nuevas y más avanzadas tecnologías que con el afán de ser implementadas lo antes posible para minimizar gastos y maximizar ganancias provocan que el elemento humano, al ser el elemento más flexible y adaptable del medio aeronáutico, sea sometido a una serie de cambios y presiones constantes para adaptarse a las nuevas tecnologías, en muchas ocasiones sin tener las condiciones propicias para ello.

Así, el piloto en la cabina de la aeronave, el controlador de tránsito aéreo en las pantallas de radar o el ingeniero de mantenimiento con nuevos equipos de diagnóstico pueden enfrentar y ser influenciados por nuevas situaciones de tipo organizacional, regulatorio, e incluso culturales en el entorno laboral que los pueden dejar en una situación de

vulnerabilidad, afectando negativamente su desempeño y llevando a que individuos adecuadamente calificados puedan cometer errores.

Errores que son originalmente atribuidos al factor humano pueden ser, en realidad, consecuencia de un mal diseño en el equipo, procesos de capacitación deficientes, procedimientos mal diseñados o una mala interpretación de los manuales de operación consecuencia de la precipitación por adoptar e implementar nuevos sistemas en las aeronaves, en los equipos de mantenimiento o en los servicios de control de tránsito aéreo.

1.3.2 Los riesgos en los escenarios de accidentes aéreos.

Los riesgos que se pueden presentar en los lugares donde han ocurrido accidentes de aviación pueden ser de tipos muy diversos, por lo que identificar y determinar sus causas, efectos y la forma como podrían afectar a la población expuesta sería de gran ayuda para tomar las medidas pertinentes de prevención y mitigación. Sin embargo, son muy pocas las fuentes que documentan lo relativo a los riesgos en los lugares de aviación y el enfoque de estas fuentes no está dirigido a la población que pudiera estar expuesta a una contingencia de este tipo.

Los escasos trabajos sobre riesgos en los lugares de aviación han sido elaborados por la OACI y son documentos básicamente enfocados en los posibles riesgos a los que están expuestos los encargados de llevar a cabo los trabajos de investigación en el área del siniestro, sin hacer mucha mención de los factores que podrían afectar a la población expuesta en el área de un accidente aéreo. La responsabilidad de esta tarea recae más bien en las autoridades e instancias de protección civil del lugar, sin embargo, cuando se habla, en términos generales de riesgos de tipo socio – organizativo a los que puede estar expuesta la población, existe un vacío y una gran carencia de información debido a la falta de registros, estadísticas confiables y trabajos en este rubro que permitan elaborar una tipificación adecuada de este tipo de riesgos.

En el caso de México, por ejemplo, debido a que se considera que riesgos como el de un accidente aéreo no constituyen un peligro a escala nacional no hay una participación predominante de los organismos de protección civil y se dejan los análisis y trabajos de este tipo de riesgos en manos de sectores e instancias muy específicas que en muchas ocasiones carecen de recursos económicos y humanos para desarrollar trabajos de investigación o implementar programas de prevención o mitigación de este tipo de riesgos. De aquí se desprende la importancia de poder contar con una clasificación que permita identificar una posible gama de riesgos que se pueden presentar en un escenario de accidente aéreo en áreas urbanas.

Cuadro 1.1 RIESGOS POTENCIALES EN UN ESCENARIO DE ACCIDENTE AÉREO.		
TIPO DE RIESGO	CARACTERÍSTICAS	COMPONENTES DE LA AERONAVE QUE PUEDEN DETONARLO
1. Riesgos físicos.		
a) fuego y sustancias inflamables.	El combustible es probablemente uno de los peligros más comunes que se encuentran en el lugar del accidente. Plantea problemas debido a su carácter inflamable y como sustancia peligrosa. Además presenta otros riesgos para la salud debidos a la inhalación de vapores y el prolongado contacto con la piel. El fuego también puede deberse a cortocircuitos en las baterías de la aeronave que, a su vez, pueden deberse a daños por impacto.	Tanques de combustible y contenedores de otros líquidos inflamables como los fluidos hidráulicos.
b) componentes de energía almacenada	Muchas estructuras y sistemas de la aeronave pueden provocar lesiones debido a que sus componentes tienen energía potencial almacenada. Los acumuladores o condensadores eléctricos y los equipos energéticos de emergencia pueden ser peligrosos debido a su potencial eléctrico y contenido químico.	Frenos y neumáticos, sistemas hidráulicos, sistemas neumáticos, amortiguadores, extinguidores de incendio en motores
c) gases bajo presión.	Algunos gases bajo presión se transportan a bordo de las aeronaves en contenedores de diversos diseños. La rápida descarga de los mismos puede plantear riesgos de lesiones físicas o de asfixia si ocurre en lugares cerrados.	Neumáticos, extinguidores de incendio.
d) aeronaves militares y anteriormente militares.	Aeronaves militares actuales y anteriores vuelan ahora normalmente con matrícula civil por lo que la población podría encontrarse en proximidad de equipo de evacuación de puesto de pilotaje y asientos eyectores viéndose sometidos, como resultado, a los peligros conexos.	Componentes de asientos expulsables, pirotecnia, armamentos y municiones.
e) equipo de seguridad reciente.	Actualmente, se están introduciendo en las aeronaves civiles otros tipos de equipo de seguridad, por ejemplo, sistemas de paracaídas de emergencia impulsados por cohetes y sistemas de protección por bolsas de aire que se están instalando en una amplia gama de aeronaves.	Sistemas de paracaídas impulsados por cohetes, sistemas de evacuación.
f) pirotecnia y explosivos.	La mayoría de las aeronaves comerciales, así como muchas privadas, llevan a bordo cargas explosivas de diseño para activar diversos sistemas. La activación inesperada de los sistemas que operan puede presentar un riesgo muy importante. También varios tipos de aeronaves transportan artículos de pirotecnia que pueden encenderse entre los restos de la aeronave.	Toboganes de evacuación, paracaídas, extinguidores de incendios, cortadores de cable, equipo de flotación, transmisores de localizadores de emergencia.
g) estructuras dañadas inestables.	Hay situaciones en que las personas en el lugar del accidente pueden verse expuestas a riesgos inesperados cuando los restos se mueven o ceden bajo los pies, debido a que existen materiales modernos, incluyendo estructuras de materiales compuestos que pueden parecer no haber sido dañados externamente pero habrán perdido integridad estructural debido al impacto y/o a los daños por calor.	Partes del fuselaje dañadas o inestables. Infraestructura dañada en tierra.
2. Riesgos biológicos.	Los lugares de accidentes aéreos pueden verse expuestos a muchos riesgos de tipo biológico. Estos pueden existir en los restos del puesto de pilotaje, la cabina y la carga así como en el terreno donde han yacido cadáveres y sobrevivientes. El sitio del accidente puede estar contaminado con sangre líquida, semilíquida y seca y otros fluidos corporales, fragmentos de huesos, tejido humano o animal y órganos internos.	Los artículos contaminados más comunes comprenden todos los materiales del interior de la cabina, p. ej., cinturones de seguridad y arneses de hombro, almohadones de asientos, otros materiales de tapizado y decoración y consolas de instrumentos.

Cuadro 1.1 RIESGOS POTENCIALES EN UN ESCENARIO DE ACCIDENTE AÉREO. Continuación.		
TIPO DE RIESGO	CARACTERÍSTICAS	COMPONENTES DE LA AERONAVE QUE PUEDEN DETONARLO
3. Riesgos materiales.	Los materiales de la aeronave dañados pueden plantear riesgos para la salud de la población. El riesgo de exposición depende en gran medida del perfil particular del accidente.	
a) metales y óxidos.	Muchos de los metales y sus respectivos óxidos son peligrosos para la salud cuando ingresan al organismo. Se requiere sólo cantidades relativamente pequeñas de algunos metales para presentar riesgos para la salud y tener consecuencias importantes en el organismo. Por consiguiente, estos metales y óxidos se clasifican como de alto riesgo. Estas sustancias pueden reaccionar en forma adversa con productos químicos, como los agentes de extinción de incendios. Los accidentes en zonas industriales pueden introducir productos químicos totalmente nuevos que podrían reaccionar adversamente entre sí o con la aeronave y resultar perjudiciales.	Estructuras del fuselaje de las aeronaves que consisten principalmente de aleaciones de aluminio con pequeñas cantidades de otros metales, incluyendo magnesio, zinc y cobre.
b) materiales compuestos.	Actualmente se utilizan ampliamente en las aeronaves compuestos basados en fibras. Una amplia gama de materiales fibrosos se utiliza en la construcción de materiales compuestos, incluyendo carbono, vidrio, kevlar y boro, combinándose éstos y otros a menudo para formar una fibra híbrida. La exposición a las fibras y restos de compuestos que han sufrido impacto y combustión pueden tener consecuencias para la salud en el corto plazo. Lo más observado es que las fibras son muy irritantes, particularmente para los ojos y también para la nariz, garganta y pulmones. También permanece la preocupación de que los restos parcialmente quemados pueden provocar peligros por contacto, como la dermatitis.	Cubierta estructural. Superficies de control, materiales y asientos de la cabina, revestimiento del puesto de pilotaje y de la cabina de pasajeros.
c) sustancias químicas y de otro tipo.	Las aeronaves contienen muchos productos químicos, algunos de los cuales pueden ser peligrosos en su estado natural y otros que pueden ser peligrosos cuando se les expone al calor u otras sustancias.	Baterías, fluidos hidráulicos, combustibles y lubricantes.
d) materiales radioactivos	Algunos materiales radioactivos se han utilizado en la construcción de aeronaves. Estos son principalmente materiales con radioactividad específica baja y, por lo tanto, plantean poco riesgo en su estado normal. No obstante, cuando se ven reducidos a polvo después de un incendio, es probable que planteen peligros para la salud si se les ingiere o inhala.	Componentes para motores de aeronave, luces de radiación beta que se utilizan para indicar salidas de emergencia, sistemas de indicación de nivel de aceite, sistemas de detección de hielo y en los sistemas indicadores de grietas en el rotor de helicópteros.
e) carga.	Hay inmensas dificultades relacionadas con la identificación y evaluación de los riesgos planteados por la carga. Si bien la carga general, por definición, se considera como no peligrosa (en términos de clasificación de transporte), en términos generales de salud y seguridad es bastante capaz de plantear peligros considerables por su tamaño y composición. También cabe señalar que la carga que contiene mercancías peligrosas y la carga general pueden incluir las sustancias químicas y de otro tipo mencionadas anteriormente.	Carga peligrosa o muy voluminosa.
4. Riesgos psicológicos.	Los escenarios de accidentes implican estrecha proximidad con desastres y trauma. El contacto con muertos o personas con heridas graves, así como sobrevivientes y con las ruinas provocadas por el accidente puede generar consecuencias psicológicas adversas.	
Fuente: elaboración propia con base en la Circular 315. Riesgos en los lugares de accidentes de aviación. OACI, 2008.		

Existe una clasificación definida por la OACI contenida en la *Circular 315 (2008)*. *Riesgos en los lugares de accidentes de aviación*, que es el resultado de años de investigación en áreas expuestas a accidentes y que está basada en un examen minucioso que ha permitido identificar una serie de riesgos provocados por los componentes de la aeronave que pueden quedar expuestos después de un accidente. Debido al impacto o la exposición al fuego cada uno de estos componentes puede modificar su forma o estructura original y representar un riesgo potencial, por lo que se deben tomar medidas de prevención para lidiar con ellos.

Aún y cuando este documento está dirigido a los investigadores de accidentes, la importancia de esta clasificación radica en que se enfoca en evaluar los restos y componentes de la aeronave que quedan expuestos en el lugar y cómo se pueden comportar y generar situaciones de peligro posterior al momento del accidente. Si se toma en cuenta que para fines de la investigación es necesario que los restos de la aeronave permanezcan intactos hasta la llegada de los peritos y equipos de investigación, este tiempo de espera puede representar mayor tiempo de exposición para la población, la infraestructura y el entorno inmediatamente después del accidente y sobre todo, mientras el área no sea debidamente aislada, protegida o acordonada.

En el cuadro 1.1 se muestran los distintos tipos de riesgos y los componentes de la aeronave que pueden detonarlos en un escenario de accidente aéreo. El análisis de esta información puede servir como punto de partida para establecer una base de datos de los peligros que podrían afectar el área expuesta y a su población. Una vez determinados los peligros se puede definir el grado de exposición de los agentes vulnerables y hacer una evaluación del posible riesgo al que están expuestos con el objetivo de implementar las medidas de acción o prevención necesarias para minimizar o mitigar los daños. La importancia de identificar los riesgos permite tanto a las autoridades como a la población en general saber cómo actuar ante este tipo de contingencia.

1.3.3. Los costos de los accidentes aéreos.

La industria de la aviación es un entorno en el que no hay que perder de vista que el principal objetivo de las líneas aéreas es obtener ganancias económicas. La relación entre las ganancias y las pérdidas son el principal indicador del éxito de una compañía por alcanzar sus metas, pero debido a que el mundo de la aviación es un ambiente colmado de condiciones potencialmente inseguras, operar una aerolínea que resulte rentable desde el punto de vista económico, pero que al mismo tiempo mantenga altos estándares de seguridad puede representar un gran reto, principalmente porque la implementación de las políticas de seguridad requieren de tiempo y capacitación para el personal y ambas condiciones implican inversión y gasto de capital.

Para muchas compañías aéreas la seguridad está directamente asociada a la ausencia de pérdidas derivadas de un accidente, sin embargo, existen muchas compañías aéreas en el mundo que pueden estar operando en condiciones potencialmente inseguras que no han provocado un accidente aún. Ante esta ausencia de pérdidas estas compañías tienden a considerar que están cumpliendo de forma eficiente con las políticas de seguridad que requiere el transporte aéreo, aunque la realidad es muy distinta.

El problema se presenta cuando debido a las deficiencias en los programas de seguridad ocurre un accidente y las compañías se enfrentan a costos y pérdidas que van más allá del accidente en sí mismo. Los costos asociados a un accidente aéreo pueden ser muy altos y sobrepasar por mucho la capacidad económica de algunas compañías a las que puede resultar imposible recuperarse de un accidente mayor.

Los costos relacionados con los accidentes aéreos se pueden clasificar en costos directos, indirectos y sociales.

1. *Costos directos.* Están principalmente relacionados con el daño físico que genera el accidente e incluye la reparación o reposición de la aeronave y equipo, la compensación y pago por las muertes o lesiones causadas, la reparación, reposición o compensación por el daño causado en la propiedad privada. Los gastos asociados a los costos directos son muy específicos y pueden ser aminorados por las compañías a través de la contratación de pólizas de seguros.
2. *Costos indirectos.* Los costos indirectos incluyen todas aquellas condiciones que no son tan obvias o evidentes inmediatamente después del accidente y cuyos efectos pueden demorar en presentarse. Estos costos no necesariamente pueden estar cubiertos por una póliza de seguros y a la larga pueden resultar más costosos que los costos directos. Algunos ejemplos de costos indirectos son:
 - a) *Costos por la pérdida de la aeronave:* la reposición de la aeronave puede requerir de la compra o arrendamiento de otro aparato. Además, directamente relacionada con la pérdida de la aeronave se pueden presentar demoras o cancelaciones de vuelos.
 - b) *Costos relacionados con la productividad o pérdida de personal:* si el personal sobrevive a un accidente y no se encuentra en condiciones de trabajar, la legislación de muchos países obliga a la compañía a que continúe pagando el salario del personal hasta que se recupere. Por otro lado, si en el accidente pierde la vida un trabajador, se requerirá de la contratación y capacitación de nuevo personal o el pago de tiempo extraordinario para cubrir el déficit.

- c) *Costos por la investigación del accidente:* los operadores de la aeronave deben solventar costos relacionados con el proceso de investigación, como el pago del personal involucrado en la investigación, los gastos relacionados con la recuperación y limpieza de los restos de la aeronave y los gastos que conllevan las pruebas y análisis que se lleven a cabo para determinar las causas.
 - d) *Costos por las pólizas de seguros:* el hecho de que una compañía aérea se vea involucrada en un accidente significa que para las compañías aseguradoras se ubique en una categoría de mayor riesgo, por lo que el costo de las primas aumenta considerablemente.
 - e) *Costos por la asesoría legal:* el tener que enfrentar reclamos y acciones legales implica para la compañía involucrada en un accidente el pago de abogados y asesoría legal.
 - f) *Costos por multas y sanciones:* el Estado donde ocurrió el accidente puede imponer multas y sanciones a la compañía aérea, incluso puede llegar a negar o revocar los permisos para seguir volando o prohibir las operaciones de dicha compañía en su espacio aéreo.
 - g) *Costos por daños a la reputación de la compañía:* verse involucrada en un accidente puede representar para una aerolínea poner en entredicho su prestigio, lo que puede llevar a la pérdida de clientes.
3. Costos sociales. El impacto de los costos directos e indirectos afectan únicamente a las compañías que se ven involucradas de manera directa en un accidente, pero cuando se habla de los costos sociales, un accidente de aviación puede tener repercusiones que pueden afectar a toda la industria del transporte aéreo en general, pues el mercado de la aviación y su prestigio pueden verse afectados a tal grado que los viajeros opten por utilizar otros medios de transporte.

En la industria del transporte aéreo la seguridad es un requisito indispensable para mantener un negocio sostenido y rentable, por esta razón las líneas aéreas deben buscar un constante balance entre la necesidad de alcanzar sus metas productivas y la necesidad de lograr sus metas de seguridad, ya que a la larga los grandes accidentes generan más pérdidas que la inversión que hubiera sido necesaria para la implementación de un programa de seguridad eficiente.

1.4 La investigación de los accidentes aéreos.

Los accidentes de aviación ponen de manifiesto los peligros o deficiencias que existen en la industria del transporte aéreo, por lo que la identificación de dichas anomalías se convierte en un elemento primordial que permitirá en un futuro tomar las medidas adecuadas para la prevención de accidentes.

En este sentido, la investigación de accidentes se convierte en pieza fundamental para la implementación de políticas de prevención porque con base en las conclusiones de la investigación se pueden establecer:

1. Las causas inmediatas del accidente o las deficiencias que lo generaron y;
2. Otros peligros o deficiencias que no están directamente relacionados con las causas del accidente pero que representan un riesgo potencial para las operaciones aéreas.

La identificación de las causas y deficiencias derivadas de la investigación conlleva a que se hagan las recomendaciones necesarias para implementar las medidas de seguridad apropiadas para evitar que los peligros o anomalías detectadas en el sistema de la aviación puedan generar nuevos accidentes en el futuro y cumplir así con el objetivo encomendado a la investigación de accidentes.

De acuerdo con la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) la única finalidad que persigue la investigación de accidentes es la de prevenir que dichos accidentes se vuelvan a presentar en el futuro y no tiene por objeto determinar en ningún momento culpa o responsabilidad por el hecho. Lo que se pretende con la investigación es la aplicación de medidas correctivas por lo que todo trámite judicial o administrativo para atribuir responsabilidades o culpabilidades ha de ser independiente de la investigación del accidente.

El resultado de la investigación se debe redactar en un informe final que debe incluir: un registro de todos los hechos relativos al accidente, un análisis de los hechos, resultados en forma de conclusiones y causas y recomendaciones sobre seguridad. De esta manera el informe final servirá como instrumento para iniciar las medidas de seguridad que sean necesarias para impedir la repetición de accidentes.

1.4.1 El proceso de investigación de accidentes.

El proceso de investigación de un accidente aéreo puede ser un asunto sumamente complejo que a menudo requiere de la participación de diversas agencias, instancias,

personal y gobiernos de distintos países, por lo cual es necesario establecer una metodología que permita, en la medida de lo posible, homogeneizar los procedimientos utilizados y la forma como se dan a conocer para cumplir con el principal objetivo de la investigación, que es la prevención de futuros accidentes.

Por esta razón la OACI como órgano encargado de normar y regular las actividades de la aviación civil internacional ha publicado el Anexo 13 al Convenio Sobre Aviación Civil Internacional titulado “Investigación de accidentes e incidentes de aviación”. (OACI, 2001). Dicho documento tiene como objetivo el proporcionar información y orientación a los Estados contratantes de la OACI acerca de los procedimientos, métodos y formas que pueden emplearse en las investigaciones de accidentes de aeronaves.

Si bien el Anexo 13 no puede contemplar todas las eventualidades que se pueden presentar, dado que la complejidad de las investigaciones de un accidente varían de un caso a otro, si se convierte en un documento que establece recomendaciones generales sobre el papel y la responsabilidad que deben desempeñar cada uno de los participantes en la investigación de un accidente aéreo.

En el ámbito de la investigación de accidentes se pueden ver involucrados distintos Estados y cada uno de ellos tendrá derechos y obligaciones dentro del proceso de investigación por lo que es necesario establecer de forma clara la diferencia entre el Estado donde sucede el accidente, el Estado de donde está registrada la aeronave accidentada, el Estado donde fue fabricada la aeronave, el Estado donde fue diseñada y el Estado del explotador de la aeronave:

- *Estado del suceso.* Estado en cuyo territorio se produce el accidente o incidente.
- *Estado de matrícula.* Estado en el cual está matriculada la aeronave.
- *Estado de fabricación.* El Estado que tiene jurisdicción sobre la entidad responsable del montaje final de la aeronave.
- *Estado de diseño.* El estado que tiene jurisdicción sobre la entidad responsable del diseño de tipo.
- *Estado del explotador.* Estado en el que está ubicada la oficina principal del explotador o, de no haber tal oficina, la residencia permanente del explotador.

El Anexo 13 contempla que la investigación de un accidente se puede dar en cuatro posibles escenarios:

1. *Cuando el accidente ocurre en el territorio de un Estado contratante de la OACI en el que interviene una aeronave de otro Estado contratante.* En este caso, la responsabilidad de llevar a cabo la investigación recae en el país donde ocurrió el accidente, sin embargo, la investigación puede ser relegada, en su totalidad o en parte, por acuerdo y consentimiento mutuo al Estado de matrícula o al Estado del explotador. En este caso el Estado del suceso deberá otorgar todas las facilidades necesarias para que la investigación se lleve a cabo.
2. *Cuando el accidente se produce en el territorio del Estado de matrícula.* En este caso, el Estado del suceso y el Estado de matrícula son el mismo, por lo que recae en esta entidad la responsabilidad de llevar a cabo la investigación.
3. *Cuando el accidente se produce en el territorio de un Estado no contratante de la OACI.* Puede suceder que el accidente ocurra en un Estado no signatario de la OACI que no tiene intención de llevar a cabo la investigación del accidente de conformidad con lo establecido en el Anexo 13, en este caso se recomienda que sea el Estado de matrícula, o en su defecto, el Estado del explotador, el Estado de diseño o el Estado de fabricación, en ese orden, el encargado de llevar a cabo la investigación, tratando de obtener la colaboración del Estado del suceso, pero si no se puede conseguir tal colaboración la investigación se deberá llevar a cabo valiéndose de los datos que se tengan disponibles.
4. *Cuando el accidente se produce fuera del territorio de cualquier Estado.* Cuando no se puede establecer claramente el lugar del accidente o si éste ocurre en aguas internacionales, el Estado de matrícula será el responsable de realizar la investigación del accidente, salvo que la investigación pueda delegarse total o parcialmente a otro Estado por acuerdo y consentimiento mutuos.

Cuando se presenta un accidente es responsabilidad del Estado del suceso designar un investigador que se hará cargo de la investigación técnica y que tendrá acceso sin restricciones a los restos de la aeronave y a todo material pertinente, incluyendo los registradores de vuelo y los registros de control de tránsito aéreo. Además será responsabilidad del Estado del suceso notificar a la mayor brevedad posible:

- a) al Estado de matrícula;
- b) al Estado del explotador;
- c) al Estado de diseño;
- d) al Estado de fabricación; y

- e) a la Organización de Aviación Civil Internacional, en el caso de que la aeronave correspondiente posea una masa máxima de más de 2 250 kg.

La intención de esta notificación es para que todos los Estados proporcionen toda la información sobre la aeronave y la tripulación que sufrió el accidente que pudiera ser relevante durante el proceso de la investigación. De la misma forma, cada Estado notificará al Estado del suceso si tiene intención de nombrar un representante acreditado para que participe en la investigación. Dentro del proceso de investigación también podrá tomar parte el Estado o Estados cuyos ciudadanos hayan perecido a consecuencia del siniestro, quienes tendrán derecho también a nombrar un representante que pueda tomar parte en la investigación. La participación en la investigación conferirá a los representantes de cada Estado el derecho a tomar parte en todos los aspectos de ésta.

La investigación comprenderá la reunión, el registro y el análisis de toda la información pertinente de que se disponga; si es posible, se determinarán la causa o causas, se redactará el informe final y cuando proceda, se formularán recomendaciones sobre seguridad. Cuando sea posible, se visitará el lugar del accidente, se examinarán los restos de la aeronave y se tomarán declaraciones a los testigos. En caso de requerirlo el Estado del suceso puede solicitar la participación de expertos técnicos (fabricantes y diseñadores de aeronaves, pilotos y controladores aéreos) de cualquier procedencia para colaborar en la investigación.

Una vez concluida la investigación el Estado encargado de llevarla a cabo emitirá un proyecto de informe final que enviará al Estado de matrícula, del explotador, de diseño y de fabricación, los cuales tendrán 60 días, a partir de la fecha de envío del proyecto de informe final para formular recomendaciones o sugerencias. De no recibir ningún comentario el Estado que lleva a cabo la investigación emitirá el informe final, el cual enviará a la brevedad posible a:

- a) el Estado que instituyó la investigación,
- b) el Estado de matrícula,
- c) el Estado del explotador,
- d) el Estado de diseño,
- e) el Estado de fabricación,

- f) todo Estado del cual hayan perecido o sufrido lesiones graves nacionales y
- g) todo Estado que haya facilitado información pertinente, instalaciones y servicios de importancia o expertos.

Posteriormente el Estado que realice la investigación hará público el informe final lo antes posible para que las recomendaciones en pro de la seguridad operacional de la aviación se implementen a la brevedad.

1.4.2 Agentes encargados de la investigación de accidentes aéreos.

La investigación de accidentes aéreos requiere de la designación de organismos especializados que cuenten con los recursos económicos, humanos y tecnológicos necesarios para llevar a cabo una tarea de cuyos resultados dependen en gran medida los programas de prevención en la aviación civil internacional.

Para lograr este objetivo muchos países han establecido una organización de investigación de accidentes que en función de su marco jurídico, puede ser un organismo dependiente de la administración de aviación civil estatal, ser totalmente independiente de ésta o no tener ningún vínculo con la autoridad aeronáutica pero depender del Departamento de Transporte. De acuerdo con sus características institucionales y estructurales las organizaciones de investigación de accidentes pueden encargarse de investigar solo los accidentes del ámbito aeronáutico o también encargarse de los accidentes relevantes en otros medios de transporte (ferroviario, carretero, marítimo y ductos).

En términos generales, los objetivos operativos de las organizaciones encargadas de investigar accidentes aéreos son:

- Determinar las causas y los factores que contribuyen para generar accidentes e incidentes graves, para establecer recomendaciones con objeto de reducir los riesgos futuros en personas, bienes e incluso en el ambiente. El seguimiento de la implementación de las recomendaciones puede recaer en la misma agencia investigadora, en la autoridad de aviación civil o en otra institución gubernamental.
- No determinar culpabilidad criminal o civil. Este principio ayuda a que no se oculte información y de esta forma se puedan determinar las causas de los accidentes para prevenirlos.
- Comunicar al público en general los avances y resultados de las investigaciones de los accidentes aéreos.

- Proporcionar asistencia y asesoría técnica a los países en donde no existan organismos especializados en investigación de accidentes aéreos.

Hay que tomar en cuenta que debido a cuestiones de carácter económico, tecnológico o administrativo no en todos los países resulta práctico establecer una organización de investigación de accidentes de forma permanente. En estos casos se crea una comisión de investigación que generalmente está compuesta por personal cedido por la administración de aviación civil estatal, quien se encarga de realizar las investigaciones. En muchas ocasiones estas comisiones de investigación solicitan la ayuda de las organizaciones de investigación de accidentes.

Algunas de las organizaciones de investigaciones de accidentes de mayor reputación en el mundo son (Herrera, 2008):

Buró para la Seguridad del Transporte Nacional (National Transportation Safety Board, NTSB, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. Es una agencia federal dirigida por el congreso norteamericano, que se dedica a investigar todos los accidentes aéreos civiles de Estados Unidos y los accidentes relevantes en otros modos de transporte. Es responsable de mantener actualizada la base de datos sobre accidentes de aviación civil y de realizar estudios especiales relacionados con la seguridad del transporte, en los casos de importancia nacional. Provee investigadores para servir como representantes acreditados de Estados Unidos en accidentes aéreos ocurridos en otros países en los que estén involucradas aeronaves con matrícula estadounidense o aeronaves y/o componentes importantes fabricados en dicho país. También es la responsable de publicar recomendaciones de seguridad para prevenir accidentes futuros.

División para la Investigación de Accidentes Aéreos (Air Accidents Investigation Branch, AAIB, por sus siglas en inglés) del Reino Unido. La AAIB es la responsable de conducir las investigaciones de accidentes y de incidentes graves de aeronaves civiles dentro del Reino Unido. Es parte del Departamento de Transporte de ese país y su propósito fundamental es el de mejorar la seguridad de la aviación al determinar las causas de los accidentes y de los incidentes graves y realizar recomendaciones de seguridad que tienen la intención de evitar su recurrencia.

Buró para la Seguridad en el Transporte de Canadá (Transportation Safety Board of Canada, TSB, por sus siglas en inglés). El TSB es una agencia independiente que reporta al Parlamento canadiense. Su misión es realizar investigaciones de seguridad independientes e identificar los riesgos en el sistema de transporte. El TSB en ocasiones auxilia a las investigaciones en

el extranjero y puede representar a los intereses canadienses, en particular cuando estén involucrados buques, equipo ferroviario, aeronaves o ductos registrados o fabricados en Canadá.

Centro de Investigación y Prevención de Accidentes Aeronáuticos (CENIPA) de Brasil. Es una organización autónoma cuyo único objetivo es el de investigar para prevenir futuros accidentes de aviación. Las investigaciones se concentran en aspectos básicos identificables y relacionados con la actividad aérea, agrupándose en factores humanos, operacionales y materiales.

Comisión para la Investigación de Accidentes Aéreos y Ferroviarios (Aircraft and Railway Accidents Investigation Commission, ARAIC, por sus siglas en inglés) de Japón. La ARAIC de Japón fue establecida con objeto de investigar científicamente las causas de los accidentes e incidentes graves, ocurridos en los modos aéreo y ferroviario, desde un punto de vista justo e imparcial para ayudar a su prevención. Es un órgano que pertenece a la Secretaría de Infraestructura y Transporte (SIT) de Japón.

En el caso de México no existe un organismo especializado en la investigación y análisis de los accidentes aéreos ocurridos en el país. Cuando se presentan sucesos de esta naturaleza en el territorio mexicano es la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la que designa un grupo de trabajo que se encargará de llevar a cabo la investigación correspondiente para determinar las causas de los accidentes aéreos. En virtud de que la DGAC no cuenta con personal específico dedicado de tiempo completo a la investigación de accidentes aéreos, en algunos casos ha tenido que solicitar la asistencia de organizaciones extranjeras, como la NTSB de Estados Unidos, para llevar a cabo los trabajos, investigaciones y dictámenes que permitan esclarecer las causas de los accidentes ocurridos en el transporte aéreo.

Capítulo 2. LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM), EL TRANSPORTE AÉREO Y LOS RIESGOS DE LA NAVEGACIÓN AÉREA.

2.1 La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Históricamente la región central del país se ha caracterizado por ser el espacio más dinámico de México y en donde se concentra el mayor número de población, de actividades económicas y de servicios. Este dinamismo ha repercutido directamente en la forma en cómo la ciudad se ha expandido físicamente hacia la periferia, rebasando por mucho los límites político-administrativos del Distrito Federal para convertirse hoy en día en la Zona Metropolitana más grande del país.

La expansión hacia la periferia se dio principalmente hacia el norte de la ciudad a partir de la década de los años 40 del siglo pasado con las conurbaciones que se desarrollaron a lo largo de los ejes carreteros hacia Querétaro y Pachuca, que fueron integrando físicamente algunas áreas de las delegaciones Miguel Hidalgo, Azcapotzalco y Gustavo A. Madero con los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Ecatepec y Nezahualcóyotl en el Estado de México. El proceso de expansión física y conurbación continuó de forma ininterrumpida como consecuencia de la reubicación de la actividad industrial y la oferta de servicios que caracterizó el desarrollo económico de la región centro a partir de la segunda mitad del siglo XX.

La aparición de subcentros urbanos especializados en comercio, industria, habitación o esparcimiento, que respondieron a intereses particulares y sociales más que a una planeación gubernamental, llevaron a la integración física y funcional del Distrito Federal con los municipios aledaños del Estado de México hasta llegar a lo que actualmente se conoce como la Zona Metropolitana del Valle de México.

La Zona Metropolitana del Valle de México está integrada por las 16 delegaciones del Distrito Federal, 59 municipios del Estado de México y el municipio de Tizayuca en el Estado de Hidalgo. (SEDESOL, 2007). En conjunto, estos 76 municipios y delegaciones alcanzan una superficie de 7, 854 km², en donde de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 habitan 20,116,842 personas. (Figura 2.1). Esta gran concentración de habitantes determina en buena medida el gran peso social, demográfico, político y cultural que tiene la ZMVM tanto a nivel regional como a nivel nacional. Además, las funciones de tipo económico, financiero, comercial, tecnológico, gerencial y de servicios que se llevan a cabo en la ZMVM tienen una gran influencia a nivel regional, nacional e internacional.

A nivel regional, la elevada concentración de población, actividades productivas y de servicios hacen de la ZMVM el motor de impulso económico que atrae grandes flujos de población e inversiones. A nivel nacional es innegable la participación económica de la ZMVM ya que contribuye con uno de cada cuatro pesos de la riqueza generada en el territorio nacional. (Sánchez, 2004).



Figura 2.1 Zona Metropolitana del Valle de México
Fuente: SIG – Metrópolis 2025. Octubre 2006.

A nivel internacional, en un contexto de globalización donde las grandes zonas metropolitanas adquieren una importancia estratégica en virtud de que son los espacios que permiten vincular los mercados internos con los mercados globales, la ZMVM juega un papel importante debido a que cuenta con una serie de ventajas que le permiten insertarse de forma competitiva en el sistema mundial de ciudades. Los servicios especializados en

finanzas, informática, administración, investigación, entretenimiento y comunicaciones han significado una ventaja que ha hecho de la ZMVM la sede del centro financiero del país, de corporativos de grandes empresas (nacionales y extranjeras) y del poder político.

El dinamismo que caracteriza a la ZMVM, resultado de los flujos e intercambios financieros, económicos, mercantiles, informáticos, culturales y de personas, influye de forma muy significativa en todo el territorio de la República Mexicana. Se precisa de una amplia red de servicios de comunicaciones y transportes para proveer los insumos necesarios para mantener la continuidad de dichos flujos y en funcionamiento una zona metropolitana como la del Valle de México. Si consideramos que, en buena medida, el crecimiento económico del país está ligado al desarrollo de las relaciones comerciales, tanto a escala nacional como internacional, que tienen lugar en la ZMVM es evidente la necesidad y conveniencia de que se utilice, cada vez con mayor intensidad el transporte aéreo, por lo que la conectividad aérea forma parte estratégica del funcionamiento de la ZMVM.

2.2 La ZMVM y sus requerimientos de transporte aéreo.

La ZMVM desempeña un rol predominante en el ámbito económico, social y político del país debido a que el área de influencia que alcanzan las actividades que se desarrollan en este lugar tiene repercusión a nivel nacional e incluso internacional.

Los servicios que ofrece en materia de finanzas, comercio y turismo, así como el abasto de los insumos y productos que son necesarios para que la población pueda llevar a cabo sus actividades cotidianas requieren de una amplia y compleja red de transporte para ser suministrados. Si bien muchos de los flujos de personas, insumos y productos que se consumen en la ZMVM pueden ser trasladados vía terrestre, para algunas cuestiones específicas, como el turismo de placer y de negocios, el transporte de algunos artículos perecederos o el traslado de dispositivos electrónicos (que en función de los acelerados cambios tecnológicos tienen ciclos de vida muy cortos), es necesario contar con un medio de transporte que pueda cubrir largas distancias en el menor tiempo posible.

Es por esta razón que el desarrollo aeroportuario, el incremento y diversificación del transporte aéreo es de gran importancia para el desarrollo de las grandes metrópolis y la ZMVM no es la excepción. La aviación en la ZMVM se ha convertido en una herramienta indispensable para la integración nacional, el turismo, la creación de negocios, la atracción de capitales y el comercio nacional e internacional de mercancías con alto valor económico.

En virtud de que las conexiones aéreas constituyen un importante componente de las aspiraciones de una ciudad por incorporarse a la red de ciudades globales se entiende la trascendencia y el alcance del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM), ya que es en este sitio donde se establecen los flujos de transporte aéreo, nacional e internacional, que permiten articular la ZMVM con el resto del país y vincular a México con el mundo.

Sin embargo, debido a que la cantidad de usuarios de transporte aéreo se ha incrementado de forma considerable en los últimos años, ha sido necesario buscar alternativas para complementar los servicios proporcionados por la terminal del AICM para satisfacer la demanda de transporte aéreo de la ZMVM, por lo que en el año 2003 se estableció el Sistema Metropolitano de Aeropuertos (SMA) con el objetivo de resolver las necesidades de capacidad aeroportuaria para la ZMVM.

2.2.1 El Sistema Metropolitano de Aeropuertos (SMA).

La necesidad de incrementar la capacidad en el suministro de servicios de transporte aéreo en la ZMVM llamó la atención de las autoridades a partir del año 2000 cuando el AICM superó los 20 millones de pasajeros atendidos en un año y la infraestructura del aeropuerto para atender a un mayor número de vuelos y de pasajeros estaba llegando al límite de su capacidad.

Como medida para resolver esta situación en el 2001 el gobierno federal anunció la construcción de una nueva terminal aérea que solucionaría los problemas de saturación del AICM, atendiendo y cubriendo la demanda cada vez mayor de transporte aéreo que se generaba en la región centro del país. Sin embargo, el proyecto del nuevo aeropuerto quedó cancelado en el año 2002 dejando el problema de la demanda de servicios de transporte aéreo para carga y pasajeros sin resolver.

Esta situación derivó en la búsqueda de alternativas que permitieran solventar la problemática de la transportación aérea en la ZMVM. Así, en el 2003 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) puso en marcha, a través de la Dirección de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), el Sistema Metropolitano de Aeropuertos (SMA) como una alternativa de solución ante la inminente saturación del AICM y el crecimiento de la demanda de transporte aéreo en la región centro del país.

El objetivo del SMA estaba enfocado en optimizar a corto, mediano y largo plazo la capacidad aeroportuaria del AICM para lo cual el programa estaba sustentado en tres líneas de acción (Galíndez, 2007):

1. Acciones de mejoramiento y ampliación de la infraestructura del AICM que incluía mejoras en el área de rodaje de las aeronaves, ampliación del edificio terminal existente, conocido como Terminal 1, y la construcción de un nuevo edificio terminal, denominado Terminal 2.
2. Aprovechar la infraestructura de los aeropuertos de Toluca, Puebla, Cuernavaca y Querétaro, en función de su cercanía al D. F., para atender el exceso de demanda del AICM y convertirse en aeropuertos complementarios para satisfacer los requerimientos de transporte aéreo en la ZMVM y en la región centro.
3. Descentralizar las operaciones del AICM promoviendo el desarrollo de los aeropuertos de Cancún, Guadalajara, Monterrey y Tijuana como centros regionales y distribuidores de tránsito aéreo.

Las inversiones en infraestructura propuestas para ampliar el AICM estaban destinadas a que, en el corto plazo y con inversiones moderadas, el aeropuerto pudiera atender a 30 millones de pasajeros y 350,000 operaciones anuales. Las principales obras que se llevaron a cabo para cumplir con este objetivo fueron: la ampliación y remodelación de la terminal 1 (T1), la construcción de una nueva terminal (T2) con 30 nuevas posiciones de plataforma para las aeronaves, mejoras en el área de maniobras del aeropuerto, ampliación de las salas de reclamo de equipaje, construcción de un sistema de drenaje profundo, una nueva zona de migración y aduana con tres bandas para el reclamo de equipaje en la zona de llegadas internacionales y la construcción de una vialidad interna y un tren para conectar a las dos terminales. (Galíndez, 2007).

En el largo plazo, la propuesta estaba dirigida en aprovechar la infraestructura aeroportuaria cercana a la ZMVM para que los aeropuertos de Toluca, Puebla, Cuernavaca y Querétaro sirvieran como aeropuertos complementarios y desconcentrar los vuelos cercanos al AICM. Con este objetivo en mente se realizaron diversas inversiones para la ampliación y mejoramiento de los aeropuertos que conformarían el SMA. Toluca fue el aeropuerto donde se concentró la mayor inversión con la ampliación del edificio terminal y la instalación de un sistema de aproximación de precisión, que permite que las aeronaves operen en condiciones climatológicas desfavorables. En el aeropuerto de Puebla se construyó un centro logístico aeroportuario para movilización de carga; mientras que en el aeropuerto de Cuernavaca se rehabilitó el área operativa del aeropuerto. También se incorporó al SMA el aeropuerto de Querétaro, el más reciente aeropuerto construido en México, que inició operaciones en 2004.

Como parte del programa para disminuir la demanda de vuelos y conexiones internacionales en el AICM también se propuso habilitar el aeropuerto de Cancún como

distribuidor de transporte de pasajeros; el aeropuerto de Monterrey para atender la demanda de transporte de carga; el aeropuerto de Guadalajara para atender la demanda de tráfico de pasajeros nacionales e internacionales y el aeropuerto de Tijuana que por su ubicación geográfica podía servir como centro distribuidor de carga y pasajeros.

En términos generales alcanzar el objetivo planteado con la implementación del SMA, de que el AICM ampliara su capacidad para atender un mayor número de operaciones aéreas, y por lo tanto un mayor número de pasajeros, estuvo basado en acciones encaminadas principalmente a ampliar la infraestructura del aeropuerto; sin embargo, los trabajos de ampliación se llevaron a cabo en áreas que no influyen directamente en la capacidad operativa del AICM, como los edificios terminales o el área de plataformas.

Lo que incide directamente en el número de operaciones aéreas que se pueden llevar a cabo en el AICM es la configuración de las pistas, pues es a lo largo de estas áreas en donde las aeronaves efectúan los recorridos de aterrizaje y despegue y es el constante flujo entre aterrizajes y despegues lo que permite optimizar la capacidad del aeropuerto. Sin embargo, debido a que las operaciones de aterrizaje y despegue están sujetas a mínimos de separación que garantizan que las operaciones se lleven a cabo de forma segura, no es posible reducir dichos estándares de seguridad con la intención de forzar un mayor número de aterrizajes y despegues para darle mayor capacidad al aeropuerto, pues esto pondría en riesgo la seguridad de las operaciones aéreas.

Las pistas constituyen un elemento crítico que limita la capacidad total del aeropuerto, y aún y cuando el AICM cuenta con dos pistas paralelas, no es posible que se lleven a cabo operaciones simultáneas de aterrizajes y despegues debido a que la separación que existe entre el eje de las pistas es de 300 m y el mínimo necesario que establece la OACI para que las operaciones simultáneas se efectúen de forma segura es de 760 m. Debido a la falta de espacio no se pudo llevar a cabo ninguna obra para mejorar la capacidad operativa de las pistas por lo que la capacidad del AICM, aún y con la construcción de nuevas plataformas que lo único que proporcionaron fue mayor espacio para estacionamiento de aeronaves, sigue siendo la misma desde hace 60 años.

Por otro lado, la propuesta de utilizar los aeropuertos de Toluca, Cuernavaca, Puebla y Querétaro para descentralizar las operaciones del AICM y ayudar a resolver los problemas de transporte aéreo en la ZMVM no ha resultado del todo atractiva debido a que ninguno de estos aeropuertos reúne las características y ventajas competitivas que tiene el AICM, por lo que el destino final de un gran número de pasajeros y de carga sigue siendo la terminal ubicada en el Distrito Federal. Lo mismo ocurre con la propuesta de utilizar los aeropuertos de Cancún, Monterrey, Guadalajara y Tijuana como centros distribuidores de

tráfico; la gran distancia que separa a estas terminales del centro del país han hecho que esta propuesta sea aún menos viable.

Para poder determinar de forma más precisa el alcance real que ha tenido la implementación del SMA se puede hacer un análisis de las estadísticas de las operaciones aéreas y el número de pasajeros transportados en los aeropuertos que conforman este sistema entre 2006 y 2012 y el resultado da una idea muy clara de la hegemonía del AICM en lo que respecta a la prestación de servicios de transporte aéreo en la ZMVM y en la región centro del país. (Cuadro 2.1 y Figura 2.2).

Cuadro 2.1 OPERACIONES AEREAS EN LOS AEROPUERTOS DEL SMA							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
AICM	355,593	378,161	366,561	348,306	339,898	350,032	377,743
CUERNAVACA	10,299	14,750	16,662	9,451	19,702	13,696	8,409
PUEBLA	16,328	23,181	24,753	19,845	19,331	16,074	18,130
QUERÉTARO	12,892	17,539	17,509	13,330	16,655	18,934	25,490
TOLUCA	45,284	87,812	96,801	79,830	74,114	79,332	87,630

Fuente: SCT. Estadística operacional de aeropuertos. 2013.



Fuente: Elaboración propia con base en "SCT. Estadística operacional de aeropuertos. 2013".

Durante el periodo de siete años mostrado el número de operaciones aéreas en los aeropuertos que conforman el SMA son dominadas claramente por el AICM con más de 300,000 operaciones anuales. Toluca por su parte, es el segundo aeropuerto en relevancia en cuanto al número de operaciones, aunque no hay que perder de vista que el mayor porcentaje de vuelos en este aeropuerto corresponden a operaciones de aviación general, esto es, el servicio de transporte aéreo que no está sujeto a itinerarios, frecuencias de vuelos ni horarios, debido a que desde mayo de 1994 se prohibió la operación de vuelos de aviación general en el AICM y fueron trasladados al aeropuerto de Toluca. En lo que respecta a la participación de los aeropuertos de Cuernavaca, Puebla y Querétaro ésta es realmente mínima pues ninguna de estas terminales aéreas supera las 30,000 operaciones durante el periodo 2006 - 2012.

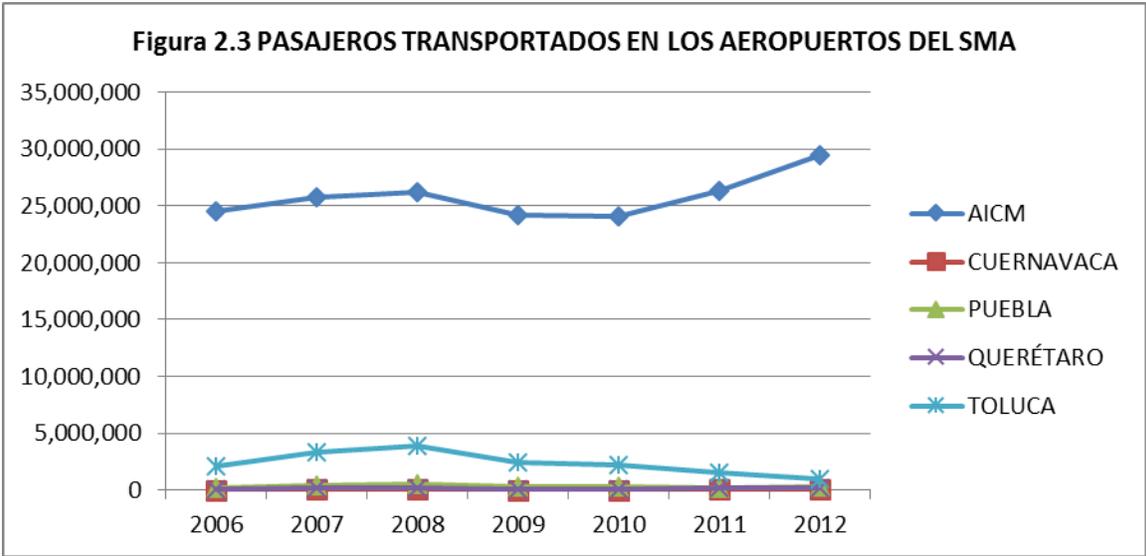
En el rubro del número de pasajeros transportados en los aeropuertos del SMA la situación es muy similar, ya que el AICM es el que transporta la mayor cantidad de pasajeros y, salvo en el 2009 donde se redujo el número de pasajeros transportados como resultado de la crisis económica mundial que impactó al transporte aéreo, a partir del 2010 el número de pasajeros transportados va en aumento. (Cuadro 2.2 y Figura 2.3).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
AICM	24,573,123	25,765,421	26,152,621	24,220,237	24,119,264	26,365,310	29,481,343
CUERNAVACA	33,209	132,938	86,164	4,044	10,242	35,727	50,874
PUEBLA	201,094	428,791	530,320	344,699	318,037	218,401	264,085
QUERÉTARO	95,028	243,467	208,785	111,882	115,643	152,568	226,908
TOLUCA	2,051,895	3,300,275	3,949,611	2,489,577	2,270,767	1,579,115	987,051

Fuente: SCT. Estadística operacional de aeropuertos. 2013.

El aporte de los aeropuertos de Cuernavaca, Puebla y Querétaro en el número de pasajeros transportados es realmente escaso comparado con el AICM; mientras que en el caso del aeropuerto de Toluca se da una situación muy particular pues de acuerdo con las estadísticas del número de operaciones aéreas, en los últimos tres años ha habido un incremento en el número de operaciones, pero en el mismo periodo el número de pasajeros transportados ha disminuido. La razón de esta peculiaridad responde a dos factores: en primer lugar, el mayor porcentaje de operaciones aéreas en el aeropuerto de Toluca corresponde a vuelos de aviación general, que se caracterizan por utilizar aeronaves pequeñas que en promedio pueden transportar de 6 a 8 pasajeros; en segundo lugar, en agosto de 2010 la Compañía Mexicana de Aviación suspendió operaciones en el AICM y su

lugar fue tomado por las líneas aéreas Volaris e Interjet que tenían como base de operaciones el aeropuerto de Toluca, y cuyo promedio de pasajeros transportados por operación es de 100. Si bien, ninguna de estas compañías dejó de operar en Toluca si redujeron considerablemente su participación al optar por aprovechar las facilidades y ventajas del AICM.



Fuente: Elaboración propia con base en “SCT. Estadística operacional de aeropuertos. 2013”.

A más de diez años del anuncio de la puesta en marcha del SMA los resultados no han sido los esperados, pues por un lado, el AICM continua incrementando el número de operaciones, pasajeros y carga transportados anualmente por lo que podría llegar al límite de su capacidad operativa y, por otro lado, los cuatro aeropuertos restantes que conforman el SMA, si bien, presentan un incremento en el número de operaciones aéreas, están muy lejos de convertirse en una opción viable que permita que vuelos nacionales e internacionales opten por utilizar estos aeropuertos como destino en lugar del AICM.

2.2.2 La relevancia del AICM en la zona centro del país.

La demanda de transporte aéreo está en función de las principales actividades (económicas, políticas, sociales y culturales) que se llevan a cabo en el área de influencia de un aeropuerto. En el caso específico del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) su área de influencia rebasa por completo los límites de la ZMVM. Si bien el principal

destino de los pasajeros y carga transportados vía el AICM es la ZMVM, también funge como puerto de conexión y enlace proporcionando el servicio de transporte aéreo para pasajeros y carga que tienen como destino final los estados de México, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Morelos y Puebla.

La razón de esta hegemonía está directamente relacionada con el hecho de que el AICM satisface los requerimientos de transporte aéreo del centro económico del país, por lo que la gran mayoría de los aeropuertos en el territorio nacional tienen que ver, ya sea de manera directa o indirecta, con el AICM en función de que las rutas y conexiones aéreas que ofrece superan por mucho la oferta y capacidad de cualquier otro aeropuerto del país, lo que lo convierte en el principal centro de generación y atracción de flujos aéreos de carga y de pasajeros. En el ámbito internacional también cubre una serie de rutas que, al no ser atendidas por otras terminales aéreas en la región centro, generan que la demanda se concentre en el AICM.

Cuadro 2.3 PRINCIPALES ORÍGENES - DESTINOS DEL TRANSPORTE AÉREO EN MÉXICO.			
NACIONALES		INTERNACIONALES	
1 México	Cancún	1 México	Los Ángeles
2 Monterrey	México	2 Los Ángeles	Guadalajara
3 México	Guadalajara	3 México	Houston
4 México	Mérida	4 Miami	México
5 Tijuana	México	5 Cancún	Atlanta
6 Tijuana	Guadalajara	6 Houston	Cancún
7 Tuxtla Gutiérrez	México	7 Nueva York	México
8 Villahermosa	México	8 Miami	Cancún
9 México	Hermosillo	9 Dallas	Cancún
10 Veracruz	México	10 Nueva York	Cancún
Fuente: Elaboración propia con base en "La aviación mexicana en cifras: 1991-2011". DGAC. 2012.			

Al hacer una revisión de los principales flujos aéreos, tanto nacionales como internacionales, en los aeropuertos del país se puede observar el lugar predominante que ocupa el AICM y la importancia que tiene para la conectividad de la región centro del país en general y para la conectividad de la ZMVM en particular.

En el cuadro 2.3 se pueden apreciar los 10 principales orígenes-destino nacionales e internacionales que, de acuerdo con la Dirección General de Aeronáutica Civil fueron

atendidos por los servicios de aviación regular, esto es el servicio aéreo que está sujeto a itinerarios, frecuencias de vuelos y horarios, entre 2010 y 2011.

Es evidente que tanto a nivel nacional como internacional el AICM tiene un papel predominante en la prestación de servicios de transporte aéreo, lo que repercute en que la terminal aérea del centro del país sea la que proporcione mayor conectividad a los usuarios del transporte aéreo, esto influye directamente en la demanda cada vez mayor de pasajeros que desde el AICM pueden llegar prácticamente a cualquier ciudad del país y a las principales ciudades de Estados Unidos, Europa y Sudamérica de forma directa.

Además de ser el principal aeropuerto para el movimiento de pasajeros, el AICM es también el principal centro de movimiento de carga aérea del país, satisfaciendo no sólo las necesidades de transporte de carga a nivel nacional sino también teniendo una fuerte participación en el ámbito internacional. El creciente acceso a los mercados externos que se tiene desde la ZMVM ha provocado el aumento de la demanda de insumos importados y el consecuente incremento de servicios de carga aérea. De acuerdo con Herrera (2012) en el 2010 el AICM movilizó el 58% de la carga aérea del país, tanto en vuelos domésticos como internacionales. Desde esta terminal se importan y exportan diversos tipos de mercancías que van desde materias primas hasta productos de alto valor económico.

De acuerdo con el valor de la mercancía los principales productos importados vía el AICM son (Herrera, 2005):

- Máquinas aparatos y material eléctrico y sus partes; aparatos de grabación o reproducción de sonido, grabación o reproducción de imagen y sonido en televisión, y las partes y accesorios de estos aparatos.
- Reactores nucleares, calderas, máquinas, aparatos y artefactos mecánicos; partes de estas máquinas.
- Productos farmacéuticos.
- Productos químicos orgánicos.
- Instrumentos y aparatos de óptica, fotografía o cinematografía, de medida, control o precisión; instrumentos y aparatos medico quirúrgicos; partes y accesorios de estos instrumentos o aparatos.

En lo que respecta a las mercancías exportadas vía el AICM, también en función del valor de la mercancía, los principales productos son:

- Reactores nucleares, calderas, máquinas, aparatos y artefactos mecánicos; partes de estas máquinas.
- Máquinas aparatos y material eléctrico y sus partes; aparatos de grabación o reproducción de sonido, grabación o reproducción de imagen y sonido en televisión, y las partes y accesorios de estos aparatos.
- Productos farmacéuticos.
- Instrumentos y aparatos de óptica, fotografía o cinematografía, de medida, control o precisión; instrumentos y aparatos medico quirúrgicos; partes y accesorios de estos instrumentos o aparatos.
- Perlas naturales cultivadas, piedras preciosas o semipreciosas, metales preciosos, chapados de metal precioso y manufacturas de estas materias; bisutería; monedas.
- Artículos perecederos: flores naturales, mariscos frescos y exóticos y verduras fuera de temporada.

Las posibilidades de conexión aérea que brinda el AICM permiten que esta carga sea transportada desde y hacia México, a través de largas distancias y en el menor tiempo posible, a destinos principalmente en Estados Unidos y Europa, con lo que amplía las perspectivas de realizar intercambios comerciales que repercuten en el desarrollo económico de la región centro.

La ZMVM juega un importante rol en el sistema urbano global en función de las diversas cualidades y ventajas competitivas que posee, lo que le otorga un alto grado de centralidad en el contexto regional y nacional, así como un lugar destacado en el ámbito internacional. Un elemento fundamental que ha permitido a la ZMVM mantener la hegemonía a nivel nacional y posicionarse a nivel internacional han sido los flujos aéreos, pues actualmente se puede afirmar que la prestación de servicios aeroportuarios y la oferta de vuelos constituyen factores clave para definir la posición de los centros urbanos en el mapa mundial de ciudades.

De esta manera los servicios de transporte aéreo para carga y pasajeros que proporciona el AICM juegan un papel relevante que permite que la ZMVM se conecte e integre a nivel regional y nacional; además permiten la vinculación y participación de la región centro del país en los mercados globales, pues satisface las necesidades de movilidad (en lo que a grandes distancias se refiere) y permite el intercambio de personas, mercancías e insumos que son determinantes para el progreso social, el dinamismo y prosperidad económica de la región centro.

2.3 El AICM como un factor de riesgo en la ZMVM

El requerimiento de servicios de transporte aéreo ha mostrado una tendencia a la alza en los últimos años en virtud de que se ha convertido en parte fundamental para el desarrollo de la ZMVM debido a que satisface los requerimientos de movilidad de largas distancias para pasajeros y carga, lo que desde el punto de vista económico es esencial para el desarrollo de negocios, el incremento del turismo y la expansión del comercio. También, el transporte aéreo trae consigo beneficios de tipo social en virtud de que permite el enlace rápido y eficiente de personas, culturas y países lo que se traduce en mayor progreso social.

El incremento en la demanda de transporte aéreo ha provocado que la imagen de aeronaves sobrevolando mañana, tarde y noche en el área urbana, desde y hacia el aeropuerto, se haya convertido en una escena tan común y cotidiana para los habitantes de la ZMVM que incluso para muchos el constante flujo de aeronaves puede pasar totalmente desapercibido. De hecho, a excepción de las áreas en donde el fuerte ruido que producen las aeronaves es realmente manifiesto (lo cual hace ineludible su presencia para la población), en las zonas en donde no se alcanza a percibir el ruido de los motores, las operaciones aéreas pueden ser completamente ignoradas.

Un alto porcentaje de la población pasa por alto lo difícil y complejo que resulta el mantener el constante flujo de las operaciones aéreas y el peligro que éstas pueden traer consigo. No hay que perder de vista que el transporte aéreo es una actividad que por sus características implica la estrecha interacción entre el factor tecnológico y el factor humano, por lo que una falla en cualquiera de estos dos elementos puede provocar el funcionamiento deficiente de una aeronave lo que se puede traducir en un accidente aéreo con la consecuente cantidad de daños o pérdidas de tipo económico, humano y ambiental.

Aún y cuando los accidentes aéreos son un fenómeno que no se presenta con frecuencia, cuando se manifiesta lo hace de forma súbita e inesperada y puede poner en riesgo no sólo a los pasajeros y tripulantes de la aeronave, sino también a la población, la infraestructura y el ecosistema de la zona en donde se produzca el percance.

La probabilidad de que se presente un accidente aéreo aumenta en la medida en que se incrementa el número de operaciones aéreas. El hecho de que el AICM sea el aeropuerto con el mayor número de operaciones del país implica que las 24 horas del día la terminal aérea y sus alrededores presenten un constante flujo de aeronaves en operaciones de aterrizaje y despegue, lo cual representa un factor que puede incrementar la posibilidad de ocurrencia de un accidente.

Las operaciones aéreas en el AICM implican en sí mismas un riesgo pero, además, la terminal aérea ubicada en la Delegación Venustiano Carranza en el Distrito Federal presenta una serie de particularidades que pueden provocar que las posibilidades de un accidente se incrementen y que los posibles efectos de éste se acentúen.

Desde el punto de vista aeronáutico la operación de las aeronaves en el Valle de México se da en un entorno bastante complejo. En primer lugar las cadenas montañosas que circundan el Valle de México representan un primer obstáculo que deben sortear las aeronaves para poder operar en el AICM. Esto implica que el diseño de los procedimientos de aterrizaje y despegue que se utilizan en este aeropuerto requiera de altos gradientes de descenso y ascenso combinados con virajes, lo que incrementa de forma considerable la carga de trabajo de las tripulaciones en las inmediaciones del aeropuerto en donde la densidad del tráfico aéreo es mayor y las aeronaves se encuentran muy cerca unas de otras.

Por otro lado, debido a que el crecimiento urbano ha rodeado completamente a la terminal aérea las trayectorias de aproximación y despegue sobrevuelan todo el tiempo edificios de gran altura y áreas densamente pobladas, lo que significa que el grado de exposición de una gran cantidad de personas, infraestructura y bienes ante la eventualidad de un accidente aéreo es muy alto, sobre todo si tomamos en consideración que el mayor porcentaje de los accidentes de aviación registrados hasta el momento ocurren en las inmediaciones de los aeropuertos, lo que deja a la extensa área urbana alrededor al AICM en una situación de gran vulnerabilidad.

2.3.1 Las etapas críticas de la navegación aérea.

Cuando se habla de viajes en avión quizá como pasajeros la imagen más recurrente este asociada con la terminal aérea y los procedimientos para abordar y descender del avión, así como con el despegue y aterrizaje de la aeronave. Pero desde el punto de vista de la navegación aérea, el vuelo de una aeronave cumple con un ciclo que inicia desde el momento que la aeronave abandona la plataforma del aeropuerto de salida y concluye cuando llega a la plataforma del aeropuerto de destino.

El ciclo completo del vuelo comprende una serie de fases, cada una de las cuales se presenta en un espacio aéreo específico y requiere que las aeronaves, las tripulaciones, los servicios de tránsito aéreo y las ayudas para la navegación aérea desempeñen funciones específicas, lo que le otorga condiciones características y un grado de complejidad particular a cada una de las fases.

De acuerdo con la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO, 2012) las distintas fases que conforman el ciclo de vuelo de una aeronave son¹:

¹ Estos conceptos solo consideran lo referente a las fases de vuelo en los vuelos sujetos a las reglas de vuelo por instrumentos (IFR), excluyendo lo referente a los vuelos sujetos a las reglas de vuelo visual (VFR), ya que éstos no están permitidos en el AICM.

1. Rodaje (taxi): La aeronave se mueve sobre la superficie del aeródromo con fuerza propia antes de despegar o luego de aterrizar.
2. Despegue (take off): Desde la aplicación de potencia de despegue, durante la rotación y hasta una altitud de 35 pies por encima de la elevación de la pista.

En esta fase de vuelo se incluyen dos sub-fases:

- a) Despegue. Desde la aplicación de potencia de despegue, durante la rotación y hasta una altitud de 35 pies por encima de la elevación de la pista o hasta selección de tren plegado, lo que ocurra primero.
 - b) Despegue Rechazado. Durante el despegue, desde el punto donde la decisión de abortar ha sido tomada hasta que la aeronave comienza a rodar fuera de la pista.
3. Ascenso inicial (initial climbing): Desde el final de la sub-fase de Despegue hasta la primera reducción de potencia prescrita, o hasta alcanzar los 1000 pies por encima de la elevación de la pista.
 4. En ruta (en route): Desde que se termina el Ascenso Inicial pasando por la altitud de crucero hasta la conclusión del descenso controlado a la Posición Inicial de la Aproximación (IAF).

En esta fase de vuelo se incluyen las siguientes sub-fases:

- a) Ascenso a Crucero: Desde la conclusión del Ascenso Inicial hasta llegar a la altitud inicial de crucero asignada.
- b) Crucero: Cualquier segmento de vuelo horizontal después de alcanzar la altitud de crucero inicial hasta comenzar el descenso al punto de destino.
- c) Cambio del Nivel de Crucero: Cualquier ascenso o descenso durante el crucero después del ascenso inicial a crucero, pero antes del descenso al punto de destino.
- d) Descenso: Descenso desde crucero hasta la Posición Inicial de la Aproximación (IAF).
- e) Espera: Ejecución de una maniobra predeterminada (usualmente un circuito de forma oval) que mantiene a la aeronave dentro de un espacio aéreo específico mientras espera autorización adicional. El descenso durante la espera está incluido en esta sub-fase.

5. Aproximación (approach): Del punto de Posición Inicial de la Aproximación (IAF), hasta el comienzo del enderezamiento para aterrizar.

En esta fase de vuelo se incluyen las siguientes sub-fases:

- a) Aproximación Inicial: De la IAF al Fijo de Aproximación Final (FAF).
 - b) Aproximación Final: Desde la FAF hasta el comienzo del enderezamiento para aterrizar.
 - c) Aproximación Frustrada/Abortar aterrizaje: Desde la primera aplicación de potencia luego que la tripulación decide ejecutar una aproximación frustrada o abortar el aterrizaje, hasta que la aeronave vuelve a entrar en la secuencia de un patrón visual o hasta que la aeronave alcance la IAF para otra aproximación.
6. Aterrizaje (landing): Desde comienzo del enderezamiento para aterrizar hasta que la aeronave sale de la pista de aterrizaje o se detiene en la pista; o cuando se aplica potencia para despegar en el caso de aterrizajes “toca y despega”.

En esta fase de vuelo se incluyen las siguientes dos sub-fases:

- a) Enderezamiento para aterrizar: Transición de la posición nariz-baja a nariz-alta inmediatamente antes de aterrizar, hasta el momento de tocar el suelo.
- b) Recorrido de Aterrizaje: Después del momento de tocar el suelo hasta que la aeronave salga de la pista de aterrizaje, o se detenga, lo que ocurra primero.

En términos de accidentes aéreos la definición de cada una de las fases de vuelo permite establecer las tareas específicas que se esperan de los distintos elementos que conforman el medio aeronáutico. Así, se puede determinar cuáles son los sistemas de la aeronave que se utilizan en cada fase del vuelo; cuáles son las funciones que debe de llevar a cabo la tripulación dependiendo la posición en la que se encuentra la aeronave; también se pueden determinar los estándares de separación entre aeronaves que deben aplicar los controladores de tránsito aéreo en función de la fase de vuelo en que se encuentra la aeronave; y además, se puede definir cuáles son los equipos en tierra que sirven para guiar a la aeronave en cada fase del vuelo. Al hacer un análisis de cada uno de estos factores se puede determinar cuál o cuáles funcionaron de forma deficiente y llevaron a producir un accidente.

Con base en esta información las diversas instancias que participan en la investigación de accidentes de aviación (OACI, fabricantes de aeronaves, autoridades gubernamentales) han

desarrollado varios trabajos de investigación en los que se identifica cuáles fases del vuelo son las más críticas y dónde se produce el mayor número de accidentes.

La figura 2.4 presenta los resultados de la investigación que en el año 2012 presentó la compañía fabricante de aeronaves Boeing sobre accidentes ocurridos en aeronaves comerciales en el mundo entre 2002 y 2011.

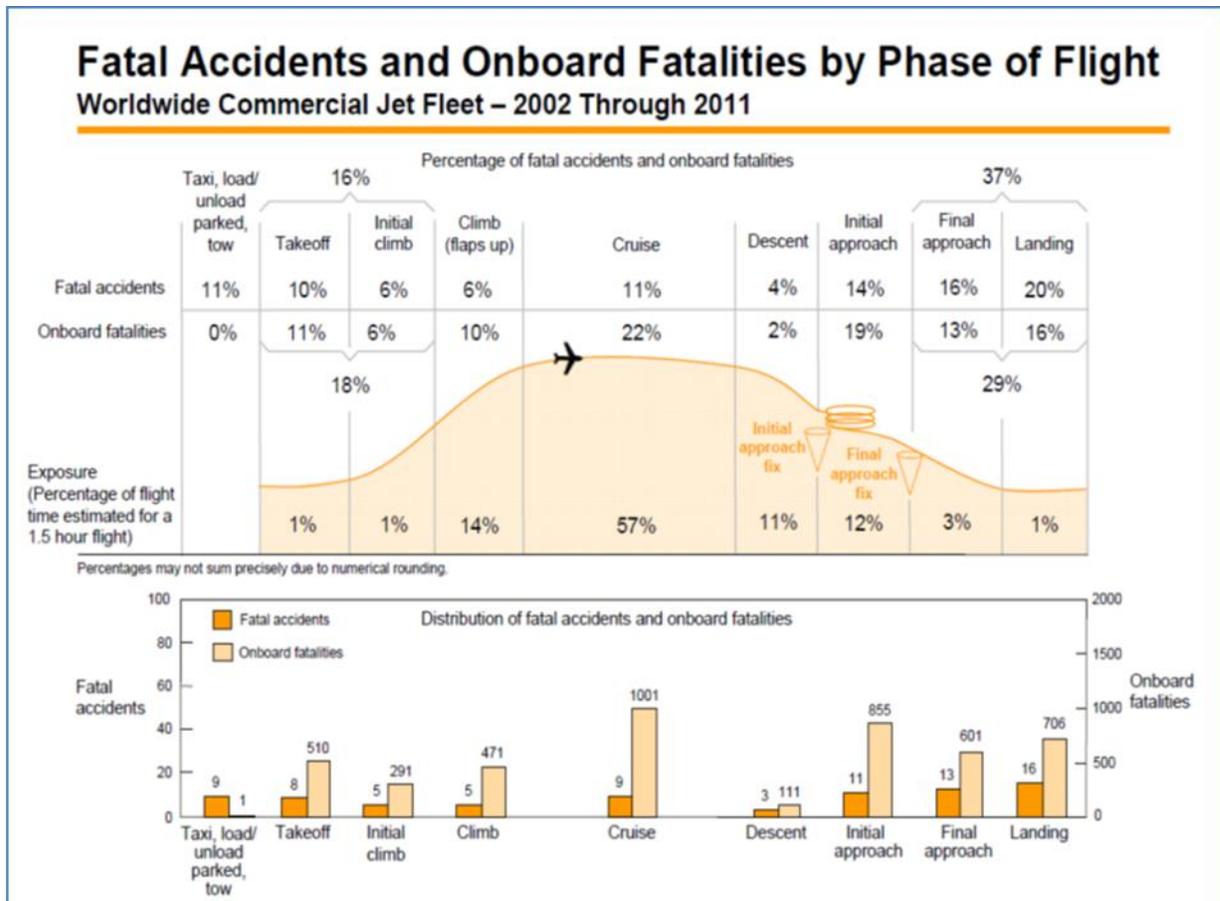


Figura 2.4 Accidentes fatales y muertes a bordo de aeronaves comerciales por fase de vuelo.
Fuente: Boeing. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. 2012.

El análisis de este gráfico demuestra que la aproximación, en sus dos sub-fases: la aproximación inicial y la aproximación final, es la fase del vuelo en donde más accidentes ocurren con un 30% del total, mientras que el aterrizaje, con un 20%, es la segunda etapa más crítica de un vuelo. Esto significa que durante cualquier vuelo es en el periodo de acercamiento y de aterrizaje a un aeropuerto en donde se presentan la mitad de los

accidentes. En lo que respecta a las fases de rodaje y despegue ambas tienen lugar en el aeropuerto y en conjunto representa el 21% de los accidentes aéreos.

Llama la atención que en lo que respecta al tiempo promedio de vuelo estas cuatro fases representan sólo el 17% del tiempo que emplea una aeronave para llegar de un destino a otro, pero es en este segmento tan corto del tiempo de vuelo en donde ocurren la mayoría de los accidentes y donde se produce el mayor número de pérdidas humanas a bordo de la aeronave, ya que estas estadísticas no toman en cuenta las posibles víctimas que pudieran existir en la superficie como consecuencia del accidente.

De estas cifras se desprende que el 71% de los accidentes fatales se producen ya sea en el aeropuerto o en sus inmediaciones. Para el caso específico del AICM estos datos cobran relevancia en función de que la terminal aérea actualmente se encuentra completamente rodeada por la mancha urbana y las operaciones aéreas en sus fases más críticas se desarrollan sobre una extensa área urbana densamente poblada, lo que implica poner en riesgo a la población, la infraestructura, los servicios urbanos y el medio ambiente.

2.3.2 Las operaciones de aproximación de las aeronaves en el AICM.

Los diversos trabajos llevados a cabo por distintas dependencias encaminados a determinar las fases más críticas del vuelo han arrojado como resultado que la aproximación es la fase en donde se producen la mayor cantidad de accidentes. Esto significa, en términos aeronáuticos, que las aeronaves tienen las mayores probabilidades de accidentarse en la trayectoria que recorren entre el fijo de aproximación inicial (IAF), pasando por el fijo de aproximación final (FAF) hasta llegar al aeropuerto.

Estas trayectorias que siguen las aeronaves para llegar del IAF al aeropuerto están debidamente definidas, delimitadas y publicadas en cartas de navegación aérea en donde se establece con coordenadas geográficas la ubicación del fijo de aproximación inicial (IAF), del fijo de aproximación final (FAF) y del aeropuerto, así como los rumbos que deben volar y las altitudes que deben seguir las aeronaves para pasar de un fijo a otro y aterrizar en un aeropuerto determinado.

Si bien existen publicaciones elaboradas por la OACI que marcan los criterios generales que se deben tomar en cuenta para establecer los corredores y trayectorias que deben seguir las aeronaves en la fase de aproximación, son las condiciones y características particulares de cada aeropuerto (como su ubicación geográfica, la orografía, elevación, condiciones climatológicas predominantes, entre otras) las que determinan las características de las trayectorias en la fase de aproximación.

En el caso del AICM, éste cuenta con dos pistas paralelas denominadas 5 izquierda-23 derecha (05I-23D) y 5 derecha-23 izquierda (05D-23I). La pista 05D-23I es la que se utiliza para el aterrizaje de las aeronaves ya que está dotada con un Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (ILS) que proporciona una guía electrónica en los planos horizontal y vertical, así como una indicación de distancia (DME) que permite a las aeronaves realizar aterrizajes de precisión en el AICM aún en condiciones de visibilidad reducida. El Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (ILS), así como el Equipo Medidor de Distancia (DME) son equipos instalados en tierra que son utilizados por las aeronaves durante la fase de aterrizaje.

Para la fase de aproximación las aeronaves se auxilian también de equipos instalados en tierra que se denominan Radiofaro Omnidireccional de Muy Alta Frecuencia (VOR), los cuales sirven para definir las trayectorias que deben seguir las aeronaves para ser guiadas correctamente hacia el aeropuerto.

El VOR es una radioayuda orientada al Norte magnético que transmite en frecuencia VHF una marcación magnética, conocida como radial, a cada uno de los 360° de la rosa de los vientos. Además, cuenta con un Equipo Medidor de Distancia (DME) y transmite su identificación periódicamente en código Morse para poder ser identificada correctamente por las aeronaves.

Los procedimientos de aproximación que se llevan a cabo en el AICM están basados en equipos VOR/DME. Para la aproximación a la pista 05D se utilizan el VOR/DME Mateo (VOR/DME SMO) Y el VOR/DME México (VOR/DME MEX); mientras que para la aproximación a la pista 23I se utiliza también el VOR/DME México y el VOR/DME Lucía (VOR/DME SLM). A partir de estas radioayudas en tierra se definen tanto la ubicación de cada uno de los fijos de la fase de aproximación así como la trayectoria que deben de seguir las aeronaves para aterrizar en el AICM. Los procedimientos de aproximación hacia ambas pistas se llevan a cabo dentro de 20 millas náuticas (37.04 km) del aeropuerto y están contenidos en la Publicación de Información Aeronáutica (PIA), editada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En el cuadro 2.4 se establecen cada uno de los fijos así como el designador y las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos que son sobrevolados por las aeronaves cuando se encuentran la fase de aproximación final al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Mientras que en las figuras 2.5 y 2.6 se pueden observar las cartas aeronáuticas, publicadas en el PIA, que describe el recorrido que llevan a cabo las aeronaves durante la fase de aproximación al AICM.

Cuadro 2.4 COORDENADAS DE LOS FIJOS DE LA FASE DE APROXIMACIÓN AL AICM.					
PISTA 05D			PISTA 23I		
FIJO	DESIGNADOR	COORDENADAS	FIJO	DESIGNADOR	COORDENADAS
IAF	VOR/DME SMO	19° 33' 20" N 99° 13' 42" W	IAF	D-8 VOR/DME SLM	19° 39' 17" N 98° 55' 18" W
FAF	PLAZA	19° 23' 29" N 99° 09' 08" W	FAF	VASOS	19° 28' 51" N 98° 59' 35" W
AEROPUERTO	VOR/DME MEX	19° 26' 18" N 99° 04' 08" W	AEROPUERTO	VOR/DME MEX	19° 26' 18" N 99° 04' 08" W

Fuente: Elaboración propia con base en "Publicación de Información Aeronáutica. 2012".

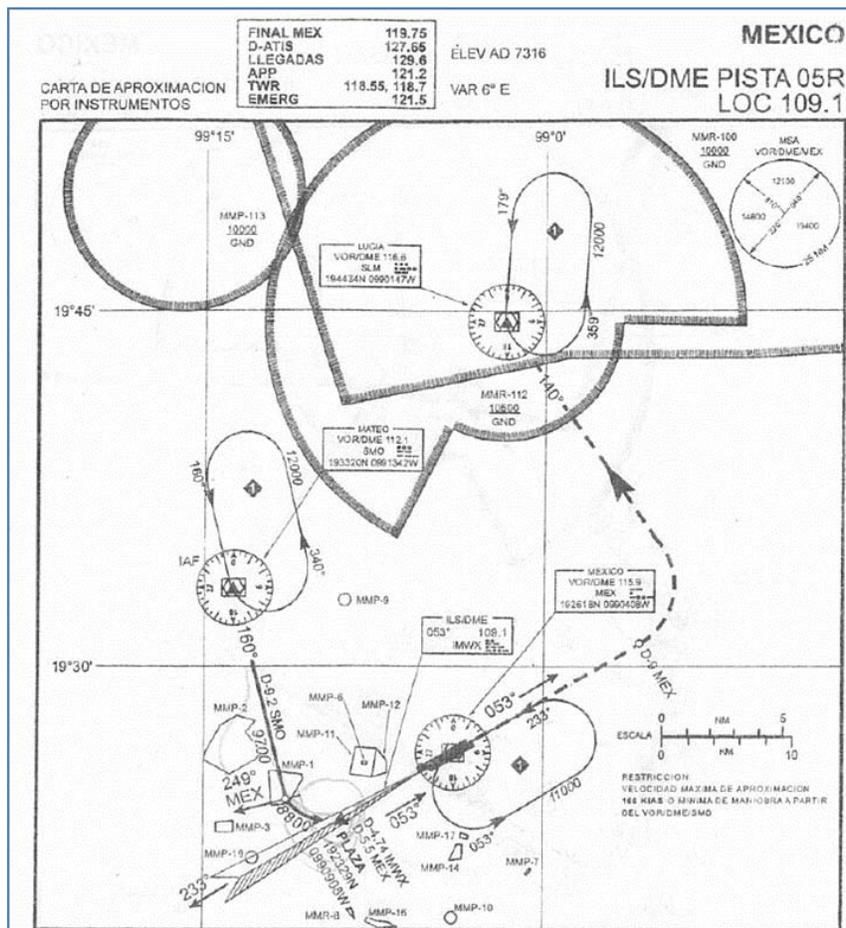


Figura 2.5 Fase de aproximación a la pista 05D.
Fuente: Publicación de Información Aeronáutica. 2012.

La fase de aproximación en el caso de la pista 05D comienza en el IAF con la aeronave volando el rumbo 160. El rumbo es la dirección en que apunta el eje longitudinal de una aeronave expresada en grados respecto al Norte magnético. En este caso, la aeronave vuela en una dirección que está separada 160° del Norte magnético y a 9.2 millas náuticas (mn) del IAF, la aeronave comienza a virar a la izquierda hacia el rumbo 053 lo que le permite sobrevolar el FAF, conocido como PLAZA, y quedar alineada con la pista 05D para aterrizar en el AICM.

Por su parte, la fase de aproximación a la pista 23I comienza en el IAF ubicado a 8 mn al SE del VOR/DME SLM desde donde la aeronave debe volar el rumbo 140 hasta 12 mn del VOR/DME SLM e iniciar el viraje hacia la derecha para interceptar el rumbo 233 que le permitirá sobrevolar VASOS y quedar alineada con la pista 23I y aterrizar. La figura 2.6 y el cuadro 2.5 muestran la ubicación de los puntos que corresponden a la fase de aproximación a la pista 23I.

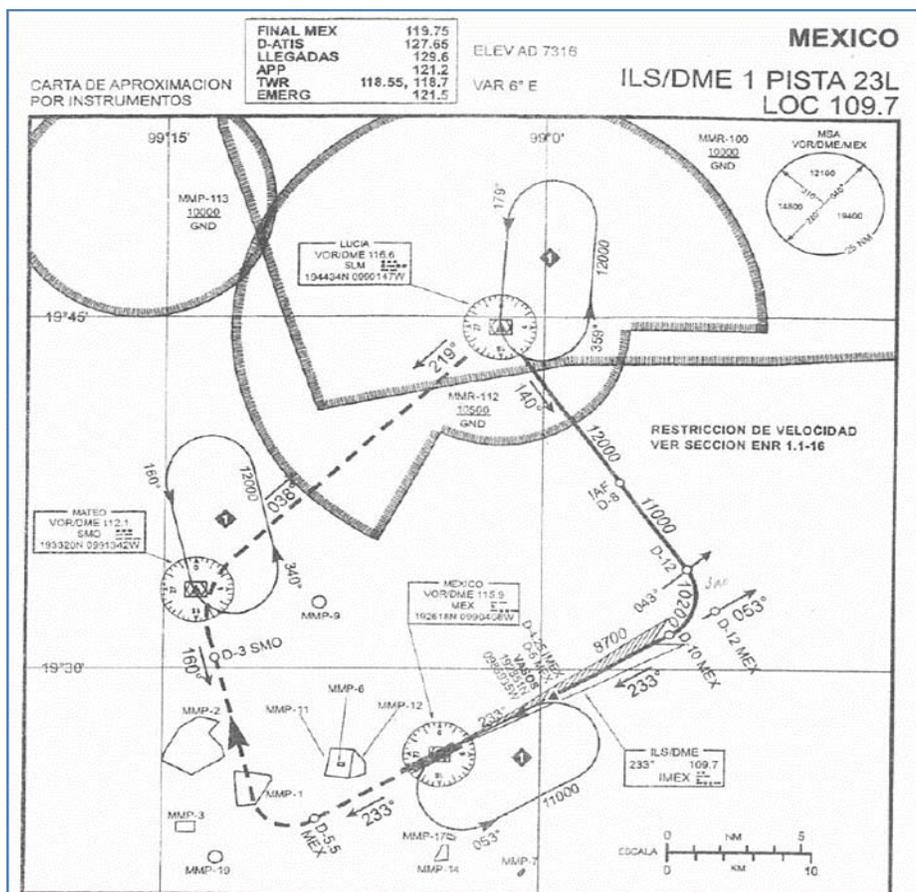


Figura 2.6 Fase de aproximación a la pista 23I.
Fuente: Publicación de Información Aeronáutica. 2012.

De forma esquemática estas son las trayectorias que siguen en el aire las aeronaves para aterrizar en el AICM pero si tomamos en cuenta que, de acuerdo con los datos estadísticos, estas trayectorias representan la fase más crítica y de mayor riesgo para las aeronaves en vuelo, bien cabría tomar en consideración qué es lo que se ubica en la superficie debajo de las trayectorias de aproximación que siguen las aeronaves y el posible riesgo al que pudieran estar expuestos los habitantes, la infraestructura y las actividades que se desarrollan en este espacio, ya que ante la eventualidad de un accidente aéreo la aeronave se precipitaría a tierra en algún punto de estas trayectorias, donde al percance podría afectar, además de las personas a bordo de la aeronave, al ámbito económico, social y cultural de la zona.

2.3.3 La vulnerabilidad de la ZMVM como consecuencia de las operaciones de aproximación en el AICM.

Como ya se ha señalado anteriormente la fase de aproximación a un aeropuerto es la etapa más delicada durante el vuelo de una aeronave en virtud de que diversos estudios sobre accidentes aéreos han arrojado como resultado que es en esta etapa donde la ocurrencia de accidentes es mayor en comparación con las otras fases del vuelo.

Debido a que gracias a las radioayudas en tierra que guían el vuelo de las aeronaves las trayectorias que son voladas por éstas no son aleatorias sino que están debidamente definidas y delimitadas, podemos utilizar esta información como punto de partida para ubicar sobre la superficie terrestre la ruta que siguen las aeronaves en su recorrido durante la fase de aproximación con la intención de poder identificar, por un lado, cuáles podrían ser los sistemas expuestos y que pudieran ser dañados o afectados como consecuencia de un accidente aéreo y, por otro lado, cuáles serían las posibles repercusiones y el impacto que pudiera tener en la superficie la ocurrencia de un fenómeno de estas características.

Analizando las trayectorias de aproximación de las aeronaves que aterrizan en el AICM y ubicando en la superficie la ruta que siguen se tiene que la aproximación a la pista 05D es un recorrido de 15.9 millas náuticas (29.26 km) que inicia en el VOR/DME SMO ubicado en Valle Dorado en el municipio de Atizapán de Zaragoza y continua por los municipios de Tlalnepantla y Naucalpan, en el Estado de México, y las Delegaciones Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Iztacalco y Venustiano Carranza, en el Distrito Federal.

Para el caso de la aproximación a la pista 23I el recorrido de 16.6 millas náuticas (30.74 km) es llevado a cabo por las aeronaves completamente sobre el Estado de México sobrevolando los municipios de Acolman, Tezoyuca, Chiautla, Chiconcuac, Papalotla, Texcoco, Atenco, Chimalhuacán y Nezahualcóyotl.

Del recorrido de ambas aproximaciones se puede determinar que la aproximación a la pista 23I se lleva a cabo desde el NE hacia el AICM donde la presencia de asentamientos urbanos no es muy grande, por lo que la vulnerabilidad demográfica, económica y social en esa área no es muy alta. Mientras que en el caso de la aproximación a la pista 05D ocurre el caso contrario ya que el recorrido de la aproximación se lleva a cabo por completo sobre una extensa área urbana densamente poblada.

El hecho de que el AICM se ubique en la Delegación Venustiano Carranza al Este del Distrito Federal y en el límite con el Estado de México implica que las aeronaves que pretenden aterrizar en la pista 05D tienen que sobrevolar los municipios de Atizapán, Tlalnepantla y Naucalpan, en el Estado de México en dirección Noroeste-Sureste y además cruzar el Distrito Federal de un extremo a otro en dirección Oeste-Este. No hay que perder de vista que el acelerado crecimiento urbano y demográfico que caracterizó a la ZMVM durante el siglo XX se concentró precisamente hacia el NW del D. F., por lo que en esta zona se concentra una gran cantidad de población, infraestructura, mobiliario y servicios urbanos que se ven expuestos todos los días a las operaciones aéreas, a pesar de que se pudiera pensar que, por ejemplo, los municipios del Estado de México se encuentran bastante alejados del aeropuerto, por lo que no estarían tan expuestos como las Delegaciones del D.F. por donde sobrevuelan las aeronaves en la etapa de aproximación.

La figura 2.7 muestra la forma como el crecimiento urbano, que en buena medida se dio de forma anárquica y disfuncional, comenzó en el centro del D.F. y se extendió hacia el NW rebasando los límites de la ciudad y llegando a los municipios colindantes del Estado de México. Este crecimiento urbano desordenado dejó al aeropuerto prácticamente rodeado por la mancha urbana, pues a no ser por la zona hacia el NE del aeropuerto, en donde el crecimiento urbano todavía es escaso (y que es el paso de la trayectoria de aproximación a la pista 23I), el resto del área que colinda con el aeropuerto está completamente urbanizada y poblada siendo el uso de suelo habitacional el que predomina, por lo que el grado de vulnerabilidad, específicamente en la zona que se asienta debajo de la trayectoria de aproximación a la pista 05D es alto.

Generalmente el crecimiento urbano de las grandes ciudades obedece a intereses de tipo privado y/o social que escapan a cualquier intento de planeación, lo que pone de manifiesto una compleja problemática de la organización del territorio. El crecimiento de la ZMVM no escapó a este fenómeno y se produjo buscando satisfacer intereses específicos o resolver problemas inmediatos como los requerimientos de vivienda y el suministro de servicios básicos, pero en este proceso se pasaron por alto cuestiones que tenían que ver con los riesgos que podían traer consigo los fenómenos naturales, los fenómenos socialmente inducidos o las actividades económicas que se llevaban a cabo en el área urbana.

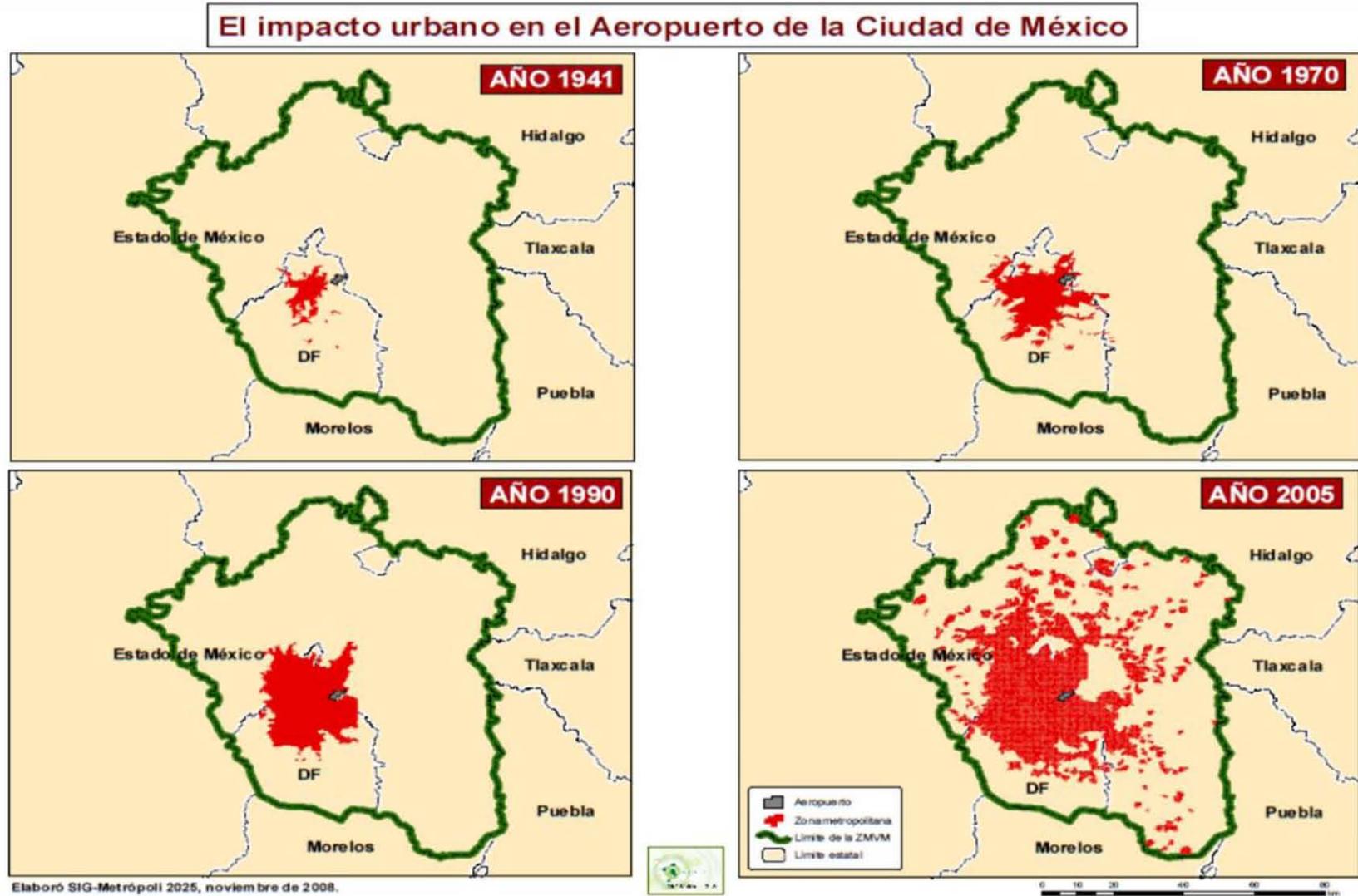


Figura 2.7 El impacto urbano en el Aeropuerto de la Ciudad de México.

Fuente: SIG – Metrópoli 2025. 2008.

De esta manera la expansión de la ZMVM se produjo sin tomar en cuenta las limitaciones y los parámetros de seguridad ante ciertas actividades, como es el caso de la operación del transporte aéreo.

Aún y cuando el transporte aéreo se ha constituido en los últimos años en un factor importante para el crecimiento y desarrollo económico y social de la ZMVM también se puede presentar como un factor de riesgo para la seguridad, salud y bienestar social de la población, aunque no hay que perder de vista que en realidad es el hombre quien, por ignorancia, negligencia o irresponsabilidad, se pone en situación de riesgo.

Capítulo 3. LA PROBLEMÁTICA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO (AICM). CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN QUE PUEDEN ELEVAR EL RIESGO DE UN ACCIDENTE AÉREO.

3.1 Evolución del espacio destinado para la operación de aeronaves en la Ciudad de México.

Desde principios del siglo XX el oriente de la Ciudad de México ha sido el lugar en donde se han llevado a cabo las actividades aeronáuticas que dieron la pauta para el crecimiento y desarrollo del transporte aéreo en la región centro del país. Esta zona de la ciudad estaba dominada por amplios llanos que ofrecían grandes áreas libres de obstáculos que permitieron que tuvieran lugar los primeros acontecimientos de carácter aeronáutico en México.

Fue precisamente en uno de los llanos de la Hacienda de Balbuena, ubicada hacia el oriente de la Ciudad de México, donde Alberto Braniff llevó a cabo el 8 de enero de 1910, el primer vuelo de una aeronave en el país, iniciando con ello la historia de la aviación nacional. A partir de ese momento en este lugar, que sería conocido comúnmente como los “llanos de Balbuena”, se llevaron a cabo vuelos de diversa índole: vuelos de exhibición (1911); el vuelo efectuado por Francisco I. Madero, registrado en la historia como el primer jefe de Estado que voló como pasajero en un avión (1911); vuelos de prueba de aeronaves construidas con materiales mexicanos (1912); pruebas de bombardeo aéreo por parte de la secretaria de Guerra y Marina (1913). (Díaz de Guzmán, 2003). Este tipo de acontecimientos permitieron que en sus inicios la aviación en México tuviera un crecimiento muy acelerado.

Debido precisamente al auge y buen recibimiento que tuvieron las actividades aeronáuticas tanto de parte del gobierno como de inversionistas privados, las operaciones aéreas aumentaron de tal forma en los “llanos de Balbuena” que fue necesario, además del espacio requerido para el despegue y aterrizaje de los aviones, la instalación primero de carpas y posteriormente de hangares para que las actividades aeronáuticas, tanto civiles como militares, pudieran llevarse a cabo. Además, el interés del gobierno mexicano en el desarrollo de la aviación se puso de manifiesto con la creación de la Escuela Nacional de Aviación y los Talleres Nacionales de Construcción Aeronáutica que tuvieron su sede también en los “llanos de Balbuena”.

Con el establecimiento formal de la aviación militar en 1917 los llanos en donde se llevaba a cabo la actividad aeronáutica civil y militar recibieron el nombre oficial de Aeródromo Nacional de Balbuena, espacio en donde, si bien se seguían llevando a cabo exhibiciones aéreas, la aviación comenzó a desarrollarse de manera formal con el establecimiento del

servicio regular de transporte de correo aéreo, rutas de vuelos comerciales de transporte de pasajeros y prácticas de aviación militar. El incremento constante de la actividad aérea requirió que la pista fuera compactada, nivelada y marcada con conos de viento; fue necesaria también la construcción de hangares, el establecimiento de suministro de combustibles y lubricantes y una estación para los servicios de correo y pasajeros. (Díaz de Guzmán, 2003).

El dinamismo en la actividad aeronáutica en el Aeródromo Nacional de Balbuena fue la característica que marcó el final de la década de 1910 y prácticamente toda la década de 1920 hasta que en 1928, debido al gran movimiento que se registraba en este aeródromo como consecuencia de las prácticas de los alumnos de la Escuela Militar de Aviación, el gobierno mexicano tomó la decisión de cerrarlo a las operaciones civiles para destinarlo al uso militar, lo que llevó a la Compañía Mexicana de Aviación y a los pilotos civiles a promover ante las autoridades la construcción de un nuevo campo de aviación civil.

Aún y cuando el Aeródromo Nacional de Balbuena siguió prestando servicio hasta 1952 la construcción de un aeropuerto para operaciones civiles y el rápido crecimiento urbano que experimentó la Ciudad de México a partir de la década de 1940 terminaron dejando en desuso dicho aeródromo.



Figura 3.1 Aeródromo Nacional de Balbuena en 1947.

Fuente: <http://www.aplicaciones.esimetic.ipn.mx/pag1/avi-mex.htm>

En la figura 3.1 se puede apreciar la ubicación del Aeródromo Nacional de Balbuena y cómo el crecimiento urbano comenzaba a rodear el espacio que era utilizado para las operaciones aéreas. En la parte superior derecha de la fotografía se alcanza a apreciar parte del actual Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, que para esos momentos ya se encontraba en operación.

Actualmente, en lo que en su momento fue el Aeródromo Nacional de Balbuena, existe una gran concentración urbana en donde predomina el uso de suelo habitacional, pues en este lugar se ubican la colonia Jardín Balbuena, la Unidad Habitacional John F. Kennedy y parte de la Ciudad Deportiva y es un espacio que aún se encuentra muy ligado a la actividad aeronáutica pues en la fase final de la aproximación a la pista 05D las aeronaves sobrevuelan todos los días esta zona.

3.1.1 Evolución del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

Actualmente el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México desempeña en nuestro país un papel principal en el suministro de servicios de transporte aéreo, no sólo a nivel nacional sino también a nivel internacional. Desde 1928, año en que comenzó su construcción e inició operaciones (aunque no fue sino hasta el 16 de septiembre de 1929 que fue inaugurado oficialmente bajo el nombre de Puerto Aéreo Central), el aeropuerto de la Ciudad de México ha mantenido un constante proceso de crecimiento en infraestructura, adecuaciones técnicas y mejoras tecnológicas con el objetivo de ajustarse a las cambiantes demandas y requerimientos de los usuarios de los servicios de transporte aéreo de carga y pasajeros.

El gran auge que experimentó la actividad aeronáutica en la Ciudad de México a finales de la década de 1920 dio la pauta para la construcción de un aeropuerto que brindara todas las facilidades para que las operaciones aéreas se llevaran a cabo. Las expectativas que generó la industria del transporte aéreo en la Ciudad de México fueron muy altas y esto quedó de manifiesto durante la década de 1930, periodo durante el cual la aviación comercial mexicana presentó un crecimiento significativo. Aunado al aumento de las operaciones civiles, el incremento en las operaciones militares y de las escuelas de vuelo llevó a que entre 1928 y 1952 el Puerto Aéreo Central fuera dotado de cinco pistas y calles de rodaje que permitieran satisfacer la creciente demanda de espacio para las operaciones de aterrizaje y despegue. (Figura 3.2). En 1931, el aeropuerto fue provisto de un sistema de luces que permitió el inicio de operaciones aéreas nocturnas en el Valle de México con lo que el tráfico aéreo se incrementó aún más al ampliarse el horario de operación del aeropuerto.

El constante incremento de las operaciones aéreas en la Ciudad de México requirió que se llevaran a cabo obras de ampliación y mejoramiento no sólo en las pistas, sino también en la terminal de pasajeros y demás instalaciones complementarias. El primer edificio terminal del Puerto Aéreo Central fue construido en 1929 pero fue destruido un año más tarde como consecuencia de un terremoto que afectó la Ciudad de México, por lo que se tuvo que edificar una nueva terminal que comenzó a prestar servicio en 1932. Sin embargo, el rápido crecimiento de la aviación comercial rebasó la capacidad del edificio terminal, por lo que se

tuvo que proyectar y construir uno nuevo, el cual fue inaugurado en 1939. Esta nueva terminal incluyó también una torre de control para prestar los servicios de control de tránsito aéreo, los cuales eran necesarios para garantizar la seguridad de las operaciones aéreas que continuaban incrementándose. (Díaz de Guzmán, 2003).



Figura 3.2 Pistas con que contaba el Puerto Aéreo Central en 1957.

Fuente: <http://s217.photobucket.com/user/ricreig/media/aicm2.jpg.html>

Las compañías de aviación que operaban en el Puerto Aéreo Central, además de seguir incrementando el número de vuelos, también ampliaron el alcance de las rutas que cubrían llegando a destinos fuera del país por lo que el 8 de julio de 1943, en el Diario Oficial de la Federación, se publicó un decreto que declaraba al Puerto Aéreo Central de la Ciudad de México como aeropuerto internacional. (DOF, 1943). El continuo aumento de operaciones aéreas y de pasajeros obligó a que en 1949 se iniciara la construcción de un nuevo edificio terminal, una nueva plataforma y torre de control. La inauguración de estas nuevas instalaciones se llevó a cabo el 20 de noviembre de 1952. Actualmente este edificio terminal continúa en operación aunque ha sido objeto de constantes ampliaciones, remodelaciones y mejoras para ponerse al corriente con la demanda de pasajeros. La última ampliación a esta terminal tuvo lugar en 1994 cuando se le anexó un nuevo edificio destinado para la llegada de vuelos internacionales y un estacionamiento, dejando el edificio original para el uso de pasajeros domésticos. (Díaz de Guzmán, 2003).

Fue necesario también equipar al aeropuerto con instalaciones complementarias que le permitirían proveer de servicios indispensables para la operación de las aeronaves, como una estación de bomberos y el servicio de suministro de combustibles que requirió la

construcción de instalaciones y tanques de almacenamiento (inaugurados en 1963), lo que contribuyó a ampliar el espacio físico del aeropuerto.

Por otro lado, la introducción de los aviones a reacción, comúnmente conocidos como jets, en el transporte aéreo de carga y pasajeros dio la pauta para que se presentaran una serie de innovaciones tecnológicas que llevaron al desarrollo de motores de mayor capacidad, fuselajes de mayor tamaño y de mayor volumen de carga y sistemas de navegación más avanzados. En México la introducción de los aviones a reacción se dio en 1960, siendo el Puerto Aéreo Central de la Ciudad de México, que a partir del 2 de diciembre de 1963 se llamó oficialmente Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, el primer aeropuerto del país en el que operaron este tipo de aeronaves.

El hecho de que los jets operaran a una velocidad mayor que las aeronaves impulsadas por hélice, que alcanzaran mayores altitudes y tuvieran mayor autonomía obligó a que en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México se adecuaran las pistas, se instalaran equipos de navegación y comunicaciones para cubrir los requerimientos de las aeronaves a reacción y se contara con instalaciones para proporcionar servicios de control de tránsito aéreo en virtud de que la operación de aeronaves más veloces requería de una vigilancia más estrecha para mantener la seguridad. De esta forma se inauguró en 1964 el primer sistema de radar en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, que constaba de una estación remota de control de área con una cobertura de 300 km, situada en Cerro Gordo, Estado de México, junto a San Juan Teotihuacán, y una estación de radar para control de aeródromo colocada entre las dos pistas del propio aeropuerto; en el mezzanine del edificio de pasajeros estaba el centro de control. También se inauguró el sistema de aterrizaje por instrumentos ILS colocado en la cabecera de la pista 23I (Díaz de Guzmán, 2003).

Es en 1966 con la instalación y entrada en operación de la radioayuda para la navegación conocida como VOR Mateo que se definen las trayectorias de aproximación que utilizan las aeronaves para aterrizar en el AICM y que se mantienen hasta el día de hoy. Si bien la instalación del sistema de radar, del sistema de aterrizaje por instrumentos y de las radioayudas a la navegación aérea obedeció en gran medida a la problemática derivada del incremento de las operaciones aéreas en el AICM, también es un hecho que durante la década de 1960 la contaminación atmosférica que se generaba en el área urbana de la Ciudad de México, que comenzaba a rodear el aeropuerto de forma cada vez más acelerada, ya comenzaba a afectar la visibilidad por lo que se requería de equipos en tierra que auxiliaran a las aeronaves en la navegación.

A principios de la década de 1970 se realizaron nuevamente trabajos de ampliación y compactación en pistas y rodajes debido a que en 1971 la aerolínea KLM introdujo en sus operaciones regulares en el AICM el Boeing 747, aeronave de gran dimensión y peso.

Fue precisamente a mediados de la década de 1970 que el AICM alcanzó su máxima extensión territorial. Si bien en sus inicios, a finales de la década de 1920, ocupaba un sitio alejado de la zona urbana que le permitió contar con espacio suficiente para ampliarse y atender la creciente demanda generada por los usuarios del transporte aéreo, el acelerado crecimiento de la Ciudad de México terminó por rodear casi por completo la instalación aeroportuaria por lo que hoy en día no es posible ampliarlo más allá de los terrenos que ahora ocupa. De hecho, con el paso de los años fue perdiendo espacio pues de las cinco pistas con que contaba el aeropuerto a principios de la década de 1960 en la actualidad solo quedan dos. Las modificaciones y ampliaciones que ha sufrido han sido todas dentro de la misma configuración básica definida a partir de 1952, fecha que se reconoce oficialmente como la de entrada en operación del aeropuerto, aunque como ya se mencionó anteriormente, desde 1928 las operaciones aeronáuticas en la Ciudad de México se llevan a cabo en ese mismo lugar. (Figura 3.3).

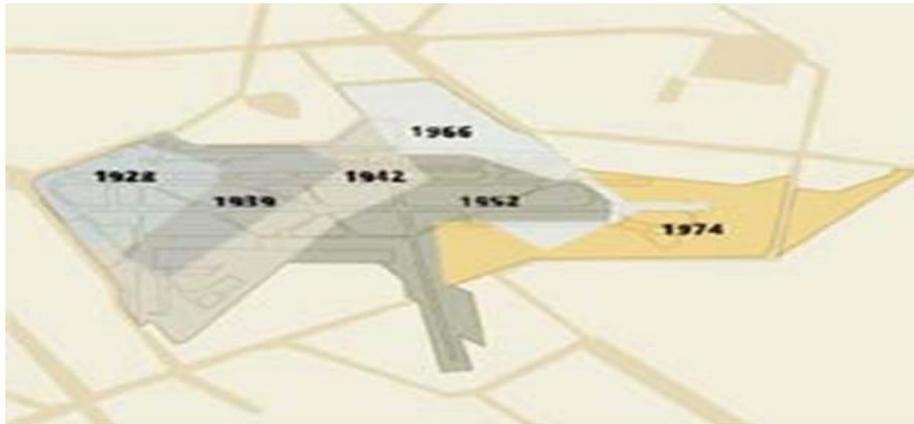


Figura 3.3 El AICM y sus etapas de ampliación desde 1928.
Fuente: Lira O, Enrique. 2002.

3.1.2 El AICM en la actualidad.

El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México es la principal infraestructura aérea del país y con el paso de los años ha tenido que adecuarse para satisfacer el constante incremento en el número de vuelos y de pasajeros. El reto que implica hacer frente a la

enorme demanda de servicios aéreos en los últimos años ha tenido como respuesta la ampliación y remodelación de la Terminal 1 (T1) para ser utilizada en su máxima capacidad, y la construcción de una segunda terminal de pasajeros (T2), que entró en operación en el año 2007 para tratar de cubrir la demanda generada por el creciente número de pasajeros y carga que tienen como destino la Ciudad de México. (Figura 3.4).

Actualmente los datos y características bajo los que opera el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México son los siguientes:

Datos generales:

- Nombre oficial: Aeropuerto Internacional “Benito Juárez”
- Ubicación: México, D.F.
- Distancia al centro de la Ciudad de México: 5 kilómetros.
- Categoría: 9 (la más alta a escala internacional OACI).
- Clasificación: Metropolitano.
- Servicio: Internacional.
- Alcance: Largo.
- Clave IATA: MEX.
- Clave OACI: MMMX.
- Superficie: 746.43 Ha.
- Elevación: 2,237 msnm.
- Latitud: 19° 26' 07" N
- Longitud: 99° 04' 20" W
- Datos de operación:
- Horario de operación: 24 horas.
- Pistas y dimensiones: 05D – 23I 3985m x 45m.
 - 05I – 23D 3963m x 45m.
- Tipo de pavimento: Asfáltico.

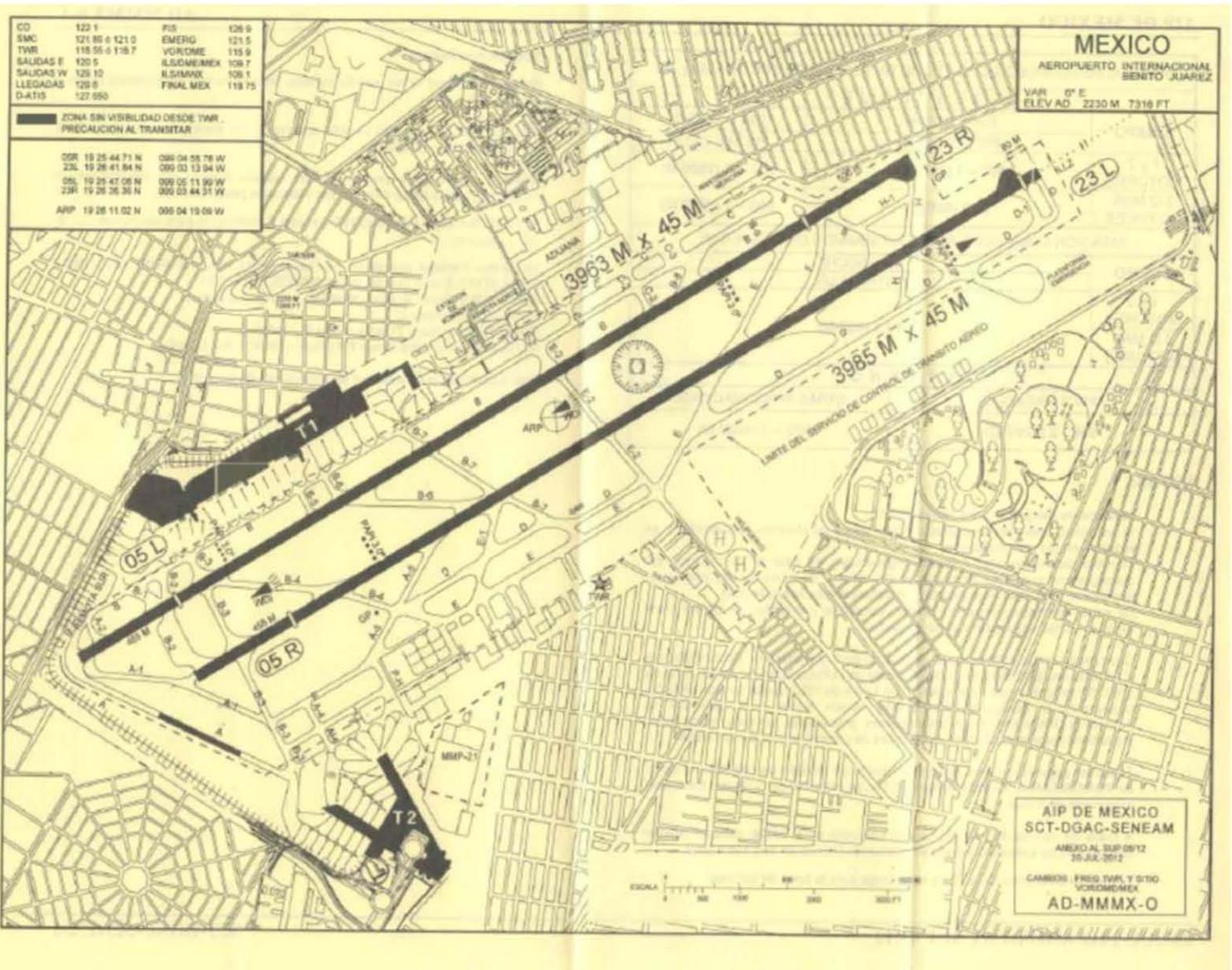


Figura 3.4 Plano general del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.
Fuente: Publicación de Información Aeronáutica. 2012.

- Posiciones de contacto: 56 (33 en T1 y 23 en T2).
- Posiciones remotas: 41 (T1 y T2).
- Avión máximo operable: Pasajeros: Boeing 747- 400 y Boeing 777 – 300; Carga: Antonov 124 – 100; Militar: C 5 y C 141.
- Número de operaciones por hora: 54 en promedio.

Básicamente esta es la infraestructura con la que en el año 2012 el AICM atendió la demanda generada por 377,743 operaciones aéreas y 29, 491,553 pasajeros.

3.2 Condiciones actuales de operación en la aproximación al AICM que pueden elevar el riesgo de un accidente aéreo.

Como cualquier otra actividad económica en la que interactúan de manera tan estrecha la tecnología y el elemento humano, las operaciones aéreas conllevan un riesgo en sí mismas. Con la intención de reducir al máximo la posibilidad de que se presente un accidente en el sector aéreo, las autoridades aeronáuticas (encabezadas por la OACI) proponen y aplican diversas medidas preventivas que involucran a todos los agentes que forman parte del medio aeronáutico. Sin embargo, aún y con la implementación de este tipo de medidas, las operaciones aéreas en algunos aeropuertos se pueden llevar a cabo bajo ciertas condiciones que pueden rebasar las medidas de prevención.

Como se ha mencionado anteriormente la fase de aproximación a un aeropuerto es la más crítica de los vuelos y donde se presenta el mayor porcentaje de accidentes aéreos. Si a esta situación se incorpora la influencia de factores característicos de cada aeropuerto el riesgo de los accidentes aéreos y sus consecuencias se pueden intensificar.

Las operaciones de aproximación de las aeronaves hacia el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México se dan bajo un entorno específico y particular que, por un lado, puede generar que la posibilidad de que se presente un accidente aéreo se incremente y, por otro lado, que las consecuencias y afectaciones que éste pueda traer consigo también se incrementen considerablemente afectando no sólo al medio aeronáutico sino también a la población en general. Los factores que pueden influir para que se manifiesten estas condiciones se pueden clasificar en cuatro aspectos principalmente:

1. El número de operaciones aéreas en el AICM.

2. La cercanía de los asentamientos humanos al AICM.
3. El uso predominante de las pistas 05 en el AICM.
4. El tipo de aeronaves que operan en el AICM.

Cada uno de estos factores presenta ciertas particularidades que pueden influenciar de manera directa el que se presente un accidente o bien, que las consecuencias y los costos socioeconómicos de un accidente se intensifiquen.

3.2.1 El número de operaciones aéreas en el AICM.

En términos cuantitativos, desde el inicio de sus operaciones y hasta nuestros días, el AICM ha mostrado una tendencia a la alza en el número de aeronaves a las que presta servicio. El análisis de las estadísticas de las operaciones aéreas que han sido atendidas por el AICM en el periodo 1967 – 2011 permite reconocer que, si bien han existido fluctuaciones e intervalos en donde la actividad aérea ha disminuido, en términos generales la tendencia de las operaciones aéreas en el AICM se ha mantenido en crecimiento. (Figura 3.5).

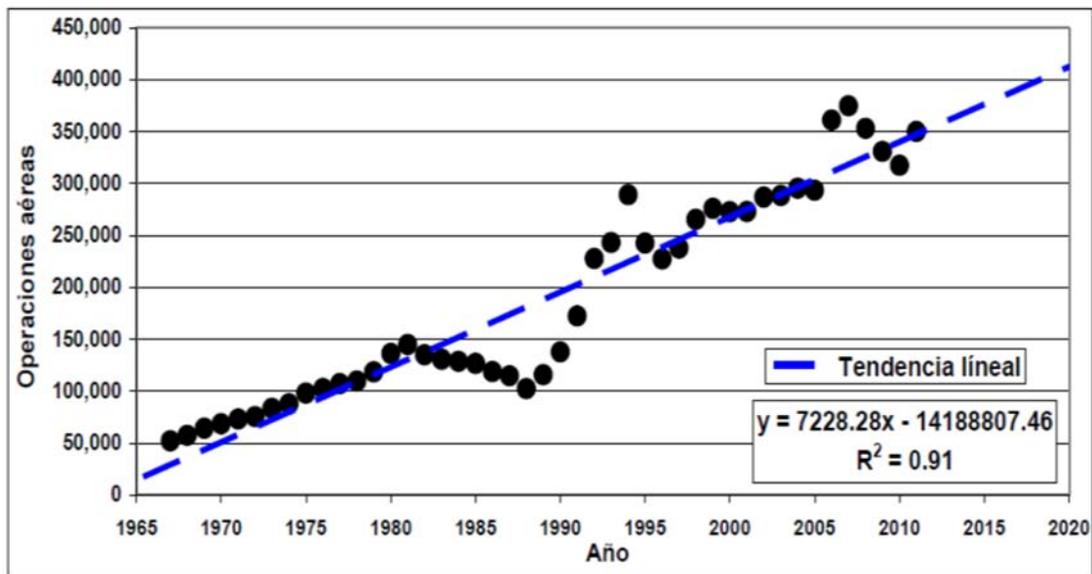


Figura 3.5 Tendencia y operaciones aéreas en el AICM (1967 – 2011).

Fuente: Herrera García, Alfonso. 2012.

En el periodo 1967 – 1981 las operaciones aéreas en el AICM mostraron un crecimiento constante, el cual se vio detenido a partir de 1982 como consecuencia de la crisis económica que afectó al país y que repercutió también en la prestación de los servicios aéreos, que

mantuvieron una tendencia negativa hasta 1989, año en el que el número de operaciones aéreas comenzó a incrementarse nuevamente.

El crecimiento se mantuvo hasta 1994, cuando las operaciones aéreas estuvieron cercanas a las 300,000 anuales. Sin embargo, la fuerte crisis financiera que se originó en México a finales de 1994 y que terminó teniendo repercusiones mundiales, provocó nuevamente la disminución en el número de operaciones. La lenta recuperación económica del país permitió que a partir de 1997 comenzara el repunte de las operaciones en el AICM, que en el año 2006 superó la barrera de las 350,000 operaciones anuales y que en el año 2007 alcanzó la cifra de 378, 161 operaciones, siendo el mayor número de aeronaves atendidas en un año en la historia del AICM.

Para el año 2008, una nueva crisis financiera, esta vez originada en Estados Unidos y que impactó el desempeño de la economía global, trajo como consecuencia una vez más la disminución en el número de operaciones, que aún a pesar de la reducción siguieron manteniendo un promedio por encima de las 300,000 operaciones anuales llevando a la infraestructura del aeropuerto a niveles muy cercanos a su saturación.

Esta tendencia negativa comenzó a revertirse a partir del año 2011 cuando el aeropuerto capitalino atendió a 350,052 aeronaves y la tendencia positiva se ratificó en el año 2012 cuando el número de operaciones aéreas llegó a 377,743, ubicándose muy cerca del máximo histórico de aeronaves atendidas por el AICM, que se presentó en el año 2007.

La importancia de conocer estos datos radica en que el número de operaciones aéreas se puede convertir en un factor que puede incidir en el hecho de que se presente un accidente en la fase de aproximación al AICM, en virtud de que en esta fase del vuelo se conjugan una serie de elementos que hacen más delicada la operación de las aeronaves. Mientras más aeronaves se encuentren operando en las inmediaciones del aeropuerto, la posibilidad de que se vean afectadas por las condiciones operativas que imperan en el AICM también aumentan.

La aproximación de las aeronaves al AICM requiere que éstas sean canalizadas a través de corredores aéreos, cuyas dimensiones se van reduciendo conforme se acercan al aeropuerto, lo que les permite quedar alineadas en el plano horizontal con la pista para poder aterrizar. Esto implica que todas las aeronaves en la fase de aproximación deben de seguir la misma trayectoria volando una detrás de otra. Aunado a esto, debido a que es necesario optimizar el espacio para permitir a un mayor número de aeronaves aterrizar en el aeropuerto, en especial en las horas de mayor saturación, es durante la fase de aproximación en donde los servicios de control de tránsito aéreo aplican los estándares de separación entre aeronaves más reducidos que permite la OACI. La separación aplicada en

este caso es de 4 millas náuticas (7.4 km) entre una aeronave y otra. Esto significa que cuando las aeronaves se encuentran en el aire es durante la etapa de aproximación cuando se encuentran más cerca unas de otras.

El mantener la separación mínima que establece la OACI (4 mn) para que las operaciones en la fase de aproximación se lleven a cabo de forma segura requiere del trabajo preciso y en conjunto del factor humano, es decir, las tripulaciones de las aeronaves y los controladores de tránsito aéreo, así como del funcionamiento correcto del elemento tecnológico (los aviones y los equipos de navegación y de comunicaciones), ya que la falla en cualquiera de estos elementos puede provocar una reducción en la separación y poner en riesgo la operación de la aeronave.

El hecho de que haya un mayor número de aeronaves intentando aterrizar en el AICM repercute directamente en la carga de trabajo que tienen que enfrentar tanto las tripulaciones como los controladores de tránsito aéreo en una etapa crítica del vuelo, pues para las tripulaciones es la etapa en donde deben llevar a cabo la revisión y verificación de múltiples sistemas a bordo de la aeronave los cuales les permitirán aterrizar de forma segura y al mismo tiempo deben de mantenerse escuchando con atención y acatando las instrucciones de los servicios de tránsito aéreo, lo que les permitirá mantener la separación adecuada con otras aeronaves para que su operación se dé conforme a los parámetros de seguridad.

Por su parte, para los controladores de tránsito aéreo un mayor número de aeronaves implica también la vigilancia de más aviones al mismo tiempo, lo que supone la transmisión de instrucciones para mantener la separación de las aeronaves de forma cada vez más continua, situación que puede derivar en que las frecuencias de comunicación que se utilizan para hacer llegar las instrucciones a las aeronaves se saturen. En una frecuencia saturada la posibilidad de confusión en las comunicaciones, que puede derivar en un accidente, aumenta considerablemente. Máxime cuando se puede estar atendiendo al mismo tiempo a más de una aeronave de la misma compañía aérea, que pese a que puede ser diferenciada por el número de vuelo, en ocasiones éstos también son muy similares y se prestan a la confusión tanto por parte de las tripulaciones como de los controladores.

Además de las condiciones operativas que se acaban de mencionar, existe otra condición muy particular bajo la cual opera el AICM que está relacionada con un fenómeno natural y que puede impactar el desarrollo seguro de la actividad aérea y, en la medida en que se incrementen las operaciones, más aeronaves estarán expuestas a este fenómeno.

El AICM tiene la particularidad de ser un aeropuerto de carácter internacional que opera las 24 horas del día a 60 km (en línea recta) de un volcán activo, el Popocatepetl. (Figura 3.6).

Durante sus recientes periodos de actividad el volcán Popocatépetl ha emitido vapor de agua, material incandescente y ceniza volcánica. Esta última constituye la mayor amenaza para las operaciones aéreas en virtud de que el viento la puede transportar a través de grandes distancias provocando que no puedan ser detectadas visualmente desde un avión ni por medio de sistemas de radar convencionales, además durante la noche, debido a la oscuridad, la identificación de las nubes de ceniza se puede volver imposible.

La actividad del volcán Popocatépetl ha presentado episodios en los que la nube de cenizas ha alcanzado a llegar hasta el AICM y sus zonas aledañas afectando de forma considerable las operaciones aéreas. El impacto de las cenizas volcánicas en la navegación aérea puede afectar a las aeronaves en vuelo o a las instalaciones aeroportuarias.

Las aeronaves en vuelo que cruzan nubes de ceniza están expuestas, en varias de sus partes, a la abrasión y fusión de cenizas volcánicas. Particularmente vulnerables son los motores y turbinas, parabrisas, tomas de estática y pitot. Asimismo, los sistemas de comunicación, sensores de temperatura, sistemas de ventilación de combustible y de aire acondicionado (Valdés y Ramos, 2001).



Figura 3.6 Operaciones aéreas y actividad volcánica en el AICM. 21 de febrero de 2003.
Fuente: <http://www.airliners.net>

En una aeronave en vuelo la afectación de las cenizas a las turbinas es la situación más delicada que se puede presentar, pues debido a su naturaleza abrasiva, la ceniza puede producir daños en las partes móviles de las turbinas. Adicionalmente, la concentración de cenizas en las turbinas, en combinación con las altas temperaturas que se producen al interior de éstas, puede fundirse afectando la eficiencia del mezclado de combustible, lo que puede generar un serio deterioro en el funcionamiento de la turbina o, peor aún, provocarle una falla que afectaría la sustentación de la aeronave.

En el aeropuerto la presencia de ceniza volcánica puede afectar instalaciones que son estratégicas y fundamentales para mantener la seguridad de las aeronaves en vuelo. Los sistemas electrónicos y de comunicaciones, así como las radioayudas a la navegación y los sistemas de radar empleados por los servicios de tránsito aéreo se pueden ver comprometidos en su funcionamiento por la exposición a la ceniza volcánica.

La amenaza que implica la cercanía del volcán Popocatepetl a las instalaciones del AICM tiene la particularidad de que, en caso de emisión de cenizas que se dirijan al aeropuerto, el tiempo de reacción con que cuentan las autoridades aeronáuticas es muy corto. De acuerdo con el CENAPRED (Valdés y Ramos, 2001), si una nube de cenizas emitida por el volcán es dispersada por vientos de 30 nudos (55.5 km/h), ésta podría llegar a la Ciudad de México en aproximadamente una hora.

El último evento de esta naturaleza tuvo lugar el 31 de julio de 1997 cuando el Popocatepetl emitió cenizas que fueron dispersadas hacia el noroeste del cráter, las cuales llegaron hasta el AICM, que se vio obligado a cerrar sus instalaciones a las operaciones aéreas por cerca de 8 horas. El problema de la afectación por ceniza volcánica en el AICM y sus inmediaciones no es nuevo y ha afectado la seguridad de las operaciones aéreas en diversas ocasiones, pero actualmente representa un riesgo mayor debido a la cantidad de aeronaves que vuelan diariamente.

3.2.2 La cercanía del área urbana al AICM.

La naturaleza de las operaciones aéreas requiere que se tome en consideración una serie de aspectos técnicos y de seguridad que permitan que el desarrollo de la actividad aeronáutica se lleve a cabo de forma segura y eficiente. El emplazamiento de un aeropuerto en relación con las áreas urbanas es una decisión que se debe tomar con gran cuidado buscando que, por un lado, el aeropuerto satisfaga las necesidades de transporte aéreo de la ciudad a la que sirve procurando no afectar o afectando lo menos posible a las zonas pobladas circundantes y, por otro lado, que la actividad económica y social llevada a cabo por la población de las zonas aledañas al aeropuerto no repercutan de forma negativa en las operaciones aéreas.

En este sentido y buscando que las operaciones aéreas en las inmediaciones de un aeropuerto se lleven a cabo de forma segura y no representen un riesgo para las aeronaves, su tripulación y pasajeros, ni para la población, infraestructura y servicios en tierra, la OACI estableció en el *Manual de planificación de aeropuertos*, que en el proceso de emplazamiento de un aeropuerto, las pistas deberían orientarse de manera que las trayectorias de vuelo no pasen sobre centros habitados, mientras las aeronaves se encuentren por debajo de ciertas altitudes. (OACI, 1987).

En 1928, cuando el aeropuerto de la Ciudad de México comenzó sus operaciones cumplía satisfactoriamente con esta condición, pues se encontraba alejado del centro de la ciudad y las aeronaves operaban lejos de los asentamientos humanos. Sin embargo, el rápido crecimiento que experimentó la ciudad a mediados del siglo XX provocó que la expansión de la zona urbana hacia el oriente de la ciudad terminara prácticamente rodeando las instalaciones del aeropuerto capitalino.

Esta expansión anárquica y desordenada del área urbana impactó y tuvo repercusiones negativas en la operación del aeropuerto debido a que dos de las cinco pistas con que contaba el campo aéreo en 1957, la pista 14 – 32 y la pista 13 – 31 que estaban orientadas en dirección W – E y eran utilizadas en el caso de vientos cruzados, dejaron de ser utilizadas como consecuencia del crecimiento del área urbana que llevo a grandes asentamientos humanos a ubicarse en los límites con la instalación aeroportuaria, muy cerca de las trayectorias sobrevoladas por las aeronaves, lo que provocó que las operaciones aéreas se volvieran inseguras tanto para las aeronaves como para la población asentada en esa zona. Con el paso de los años el espacio ocupado por las pistas 14 – 32 y 13 - 31 cedió su lugar a la construcción de viviendas.

El crecimiento urbano también ocupó por completo el área hacia el SW y S del aeropuerto por lo que todo el espacio sobrevolado por las aeronaves en la aproximación hacia las pistas 05 dejó de estar libre de obstáculos en la superficie y fue ocupado por múltiples construcciones de alturas y características muy diversas que están expuestas todos los días a las operaciones aéreas. Debido a que la pista 05D es la que se utiliza de forma predominante para las operaciones de aterrizaje, y fue dotada con sistemas de radioayudas en tierra para guiar a las aeronaves durante la fase de aproximación, las operaciones de aterrizaje hacia esta pista no fueron interrumpidas, por lo que la trayectoria que siguen los aviones para aterrizar en la pista 05D continúa tal y como fue diseñada desde 1966.

De la misma forma que la ciudad continuó expandiéndose y aumentando los asentamientos humanos alrededor del aeropuerto y debajo de las trayectorias que utilizaban las aeronaves en su ruta hacia el AICM, el aeropuerto también continuó con un constante incremento en el número de operaciones que atendía cotidianamente, con lo cual un mayor número de

personas en la superficie estaba expuesta a un mayor número de aeronaves sobrevolando encima de ellos. La figura 3.7 y la figura 3.8 permiten observar como el crecimiento urbano terminó rodeando prácticamente por completo al AICM.



Figura 3.7 Aeropuerto de la Ciudad de México en 1962.
Fuente: <http://s217.photobucket.com/user/ricreig/media/aicm62.jpg.html>



Figura 3.8 Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México en el año 2009.
Fuente: <http://www.airliners.net>

El rápido crecimiento del área urbana y de la actividad aérea rebasó por mucho la capacidad de las autoridades para establecer lineamientos sobre la cercanía de los centros urbanos a instalaciones estratégicas como los aeropuertos. En 1990, cuando el AICM y el área urbana ya mostraban la misma configuración que presentan hoy en día, se publicó en el Diario Oficial de la Federación (14 de agosto) los Criterios de Desarrollo Urbano, documento encaminado a establecer lineamientos para evitar situaciones de riesgo y evitar problemas que pudieran poner en peligro los asentamientos urbanos y rurales.

En lo que se refiere a la ubicación de los aeropuertos dicho documento establece, en lo referente a la regulación general de usos de suelo, que cualquier uso habitacional deberá estar alejado como mínimo 1,000 metros de la cabecera de una pista de aeropuerto de mediano y largo alcance. (DOF, 1990).

Mientras que en el apartado de infraestructura vial y transporte establece que los aeropuertos de mediano y largo alcance se localizaran a un mínimo de 5 km del último límite de ocupación urbana previsto en el plan del centro de población. En el caso de estar ya inserto o perimetral a una mancha urbana (caso del AICM), podrá ser colindante con zonas agrícolas, agropecuarias o áreas industriales ligeras y medianas, de almacenamiento masivo, portuarias, de abasto, etc., siempre y cuando sean de bajo riesgo y no concentren grandes cantidades de personas.

El caso del AICM no se apega a ninguno de los lineamientos anteriormente mencionados, pues la cabecera tanto de la pista 05D como la de la pista 05I se encuentran a menos de 1,000 metros de la zona urbana, en donde impera una fuerte presencia de vivienda. Pero la zona habitacional no se limita solamente al área aledaña a la cabecera de las pistas 05D y 05I, de hecho, prácticamente todo el perímetro del AICM se encuentra rodeado por área urbana en donde predominan el uso de suelo habitacional. La única zona aledaña al aeropuerto que aún se mantiene libre de edificaciones es la parte NE, en la zona de la cabecera de las pistas 23D y 23I, por lo que la trayectoria que siguen las aeronaves cuando la pista 23I está en uso para los aterrizajes se encuentra libre de obstáculos.

El resto del área alrededor del AICM, además de concentrar grandes volúmenes de personas, también concentra infraestructura importante para la movilidad y conectividad de la zona oriente de la ciudad, como vialidades primarias de gran importancia como el Eje 1 Norte y el Circuito Interior; así como sistemas de transporte masivo como el Sistema de Transporte Colectivo (metro) y el Metrobús.

Ante la posibilidad de un accidente aéreo, la cercanía de las aeronaves con la población e infraestructura podría generar mayores daños y tener mayores repercusiones negativas de las que se podrían derivar si la operación de las aeronaves durante el aterrizaje en las pistas

05 estuviera libre de obstáculos. Sin embargo, la realidad de las operaciones aéreas en el AICM indica que están interactuando de forma muy estrecha un agente perturbador (las aeronaves) con un sistema afectable (asentamientos humanos e infraestructura), teniendo el agente perturbador la probabilidad de provocar daños y producir un desastre.

3.2.3 El uso predominante de las pistas 05 en el AICM.

Uno de los elementos más importantes que se considera a la hora de diseñar un aeropuerto es el que tiene que ver con los factores que intervienen en la determinación de la orientación de las pistas. En este sentido, el viento es quizás la principal condicionante que se toma en cuenta para definir la orientación de las pistas de un aeropuerto. La pista principal debe de estar orientada en la dirección del viento predominante debido a que, para poder elevarse, un avión necesita, según sus características de peso, aerodinámica y empuje de sus motores, una velocidad determinada del aire a través de las superficies de sustentación (las alas del avión).

Un avión logra elevarse debido a las fuerzas que genera la circulación del aire a través de las alas. Cuando el viento choca con el borde de ataque (parte frontal) del ala se divide en dos capas; una recorre la parte inferior del ala, la cual es casi plana, mientras que la segunda capa recorre la parte superior del ala que tiene una ligera forma curva. En la parte inferior el viento conserva su velocidad original generando una presión alta en la superficie del ala; mientras que en la parte superior del ala, la parte curva de ésta permite que el viento recorra una mayor superficie y fluya más rápidamente generando que la presión disminuya. La diferencia de presión entre la parte inferior y la parte superior del ala generan una fuerza sobre ésta, denominada sustentación, que permite que el ala, y por lo tanto el avión, tienda a elevarse.

De este principio físico se desprende la importancia que tiene para la operación de las aeronaves en un aeropuerto la dirección del viento. Las aeronaves despegan y aterrizan con el viento en contra debido a que la componente en contra que ofrece al viento se suma a la del aire respecto a las superficies del avión lo que permite que la carrera de despegue o aterrizaje sea más corta.

En la Ciudad de México la circulación de los vientos está regida por los vientos del oeste del semestre centrado en el invierno y los alisios húmedos del este en el resto del año. La interacción de estos sistemas de vientos produce que en una gran extensión de la ciudad (la zona del centro histórico y oriente) la dirección de los vientos sea, por las mañanas y hasta el mediodía, del norte, noreste y este, tanto en los meses de la estación seca como durante las lluvias. En las horas de la tarde los vientos que prevalecen son de rumbo del sur,

oeste y noroeste en los meses secos, mientras que en el periodo húmedo del año soplan tanto del noreste como del noroeste. (Jáuregui, 2000).

Debido a esta distribución de los vientos, las pistas del AICM fueron emplazadas en dirección noreste – suroeste, quedando definidas dos pistas paralelas denominadas 05I – 23D y 05L – 23R. La designación 05 proviene debido a que la pista está orientada hacia el rumbo 052 de acuerdo con la rosa de los vientos y la OACI determina que para designar las pistas de un aeropuerto se deben utilizar los primeros dos dígitos de su orientación, en este caso 05. En cuanto a la otra pista, al estar orientada en el rumbo recíproco, es decir el rumbo 232, es designada con el nombre de pista 23. Debido a que en este caso estamos hablando de dos pistas paralelas con la misma orientación se incorpora al número de la pista los términos derecha e izquierda en inglés: Right (R) y Left (L), de acuerdo a su posición, para ser identificadas correctamente a nivel internacional. De esta manera las pistas en el AICM son conocidas por los pilotos y tripulaciones tanto nacionales como extranjeras como 05L – 23R y 05R – 23L.

Desde el punto de vista operativo la pista en uso en los aeropuertos se asigna en función de la dirección del viento predominante cuidando que la componente de la dirección del viento esté si no siempre de frente a los despegues y aterrizajes, si por lo menos en una dirección entre 0° y 90° con respecto a la nariz del avión. Cuando la dirección del viento varía de tal forma que incide en las aeronaves por la parte posterior es el momento de cambiar la dirección de los despegues y aterrizajes, utilizando la pista recíproca para que las aeronaves puedan seguir operando, en la medida de lo posible, con el viento en contra.

En el AICM, la pista a ser utilizada se asigna bajo esta premisa y, en virtud de que la mayor parte del año los vientos provienen del norte, noreste y este, generalmente se utiliza la pista 05L para los despegues y la pista 05R para los aterrizajes. También hay que destacar que incluso cuando no hay viento los servicios de tránsito aéreo utilizan las pistas 05L y 05R en función de su cercanía a los dos edificios terminales del aeropuerto. Sin embargo debido a que la dirección del viento puede variar en cualquier momento durante el día, existen periodos en donde es necesario el uso de las pistas 23L y 23R para las operaciones aéreas. Es difícil establecer con exactitud cuáles son los periodos del año u horas del día durante los que se utiliza determinada pista, pero las estadísticas de operación del aeropuerto permiten establecer que la mayor parte de las operaciones de despegue y aterrizaje en el AICM se llevan a cabo en las pistas 05L y 05R.

Una de estas estadísticas que podría ayudar a definir el tiempo de utilización de las pistas en el AICM es el documento *Aproximaciones frustradas 2011* presentado por Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) en el año 2012. En este documento, SENEAM hace un recuento de las aproximaciones frustradas durante el periodo 2008 – 2011

en el AICM. Una aproximación frustrada (también conocida como aproximación fallida) es aquella en donde una aeronave que está próxima al aterrizaje no logra completarlo debido a factores como condiciones meteorológicas, condiciones del aeropuerto, equivocación del piloto o del controlador de tránsito aéreo, pista ocupada por otra aeronave o algún vehículo y decisión del piloto, entre los más recurrentes. La aparición de alguno de estos elementos obliga a que la aeronave se eleve nuevamente para realizar otro intento de aterrizaje.

En términos cuantitativos las aproximaciones frustradas representan un porcentaje mínimo en comparación con el número de aterrizajes exitosos que se completan diariamente en el AICM. No obstante, la información sobre las aproximaciones frustradas por pista en uso durante el año 2011, presentada en el informe de SENEAM, permite tener una mayor certeza sobre cuáles son las pistas que se utilizan predominantemente en el AICM y el tiempo de utilización de las mismas. (Figura 3.9).

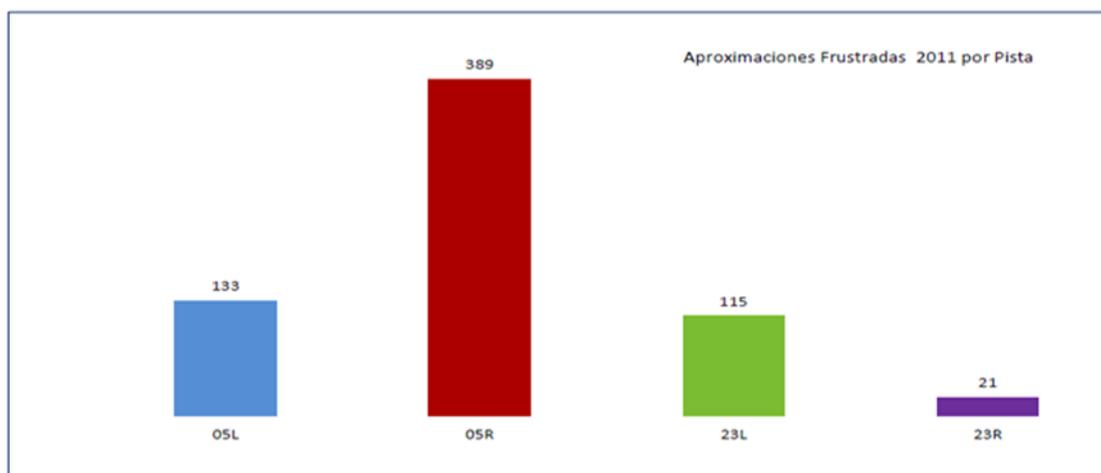


Figura 3.9 Aproximaciones frustradas por pista.
Fuente: SENEAM. Jefatura Torre de Control México. 2012.

De acuerdo con estos datos, de las 658 aproximaciones frustradas que ocurrieron en el AICM durante el año 2011, un total de 522, es decir el 79.3%, se presentaron mientras se utilizaban las pistas 05; siendo la pista 05R la que presentó el mayor número de aproximaciones frustradas (389), lo cual se explica porque al ser la pista que está dotada con el Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (ILS por sus siglas en inglés) es la que se utiliza principalmente para los aterrizajes. Los aterrizajes en la pista 05L se presentan sólo cuando las condiciones de visibilidad son muy buenas o cuando por razones operativas los servicios de tránsito aéreo deciden utilizarla. Generalmente esta pista está destinada para los despegues, por ello el número de aproximaciones frustradas en la pista 05L es casi tres veces menor con respecto a las aproximaciones frustradas en la pista 05R.

Por su parte, las cifras de las aproximaciones frustradas cuando se utilizan las pistas 23 para las operaciones aéreas están muy por debajo comparadas con el número de aproximaciones frustradas en las pistas 05. La pista 23R, que al igual que la pista 05L está destinada normalmente para los despegues y es utilizada para los aterrizajes sólo en las condiciones que ya se mencionaron anteriormente, presenta únicamente 21 aproximaciones frustradas durante todo el año 2011. Mientras en el caso de la pista 23L, aún y cuando cuenta con el sistema ILS para las aproximaciones de precisión, presenta menos aproximaciones frustradas que la pista 05L, la cual no cuenta con un sistema de aterrizaje de precisión para auxiliar a las aeronaves durante la aproximación al aeropuerto.

Estos datos ayudan a revelar que alrededor del 80% de las operaciones aéreas que atiende anualmente el AICM se llevan a cabo utilizando las pistas 05L y 05R, aunque existen datos que establecen que de hecho, las pistas cinco son las más utilizadas, aproximadamente se utilizan en el 91% de las operaciones aéreas. (Herrera, 2012). El uso predominante de estas pistas es un factor a considerar cuando se analiza la posibilidad de un accidente aéreo en las inmediaciones del AICM y las repercusiones que un evento de esta magnitud pudiera traer consigo.

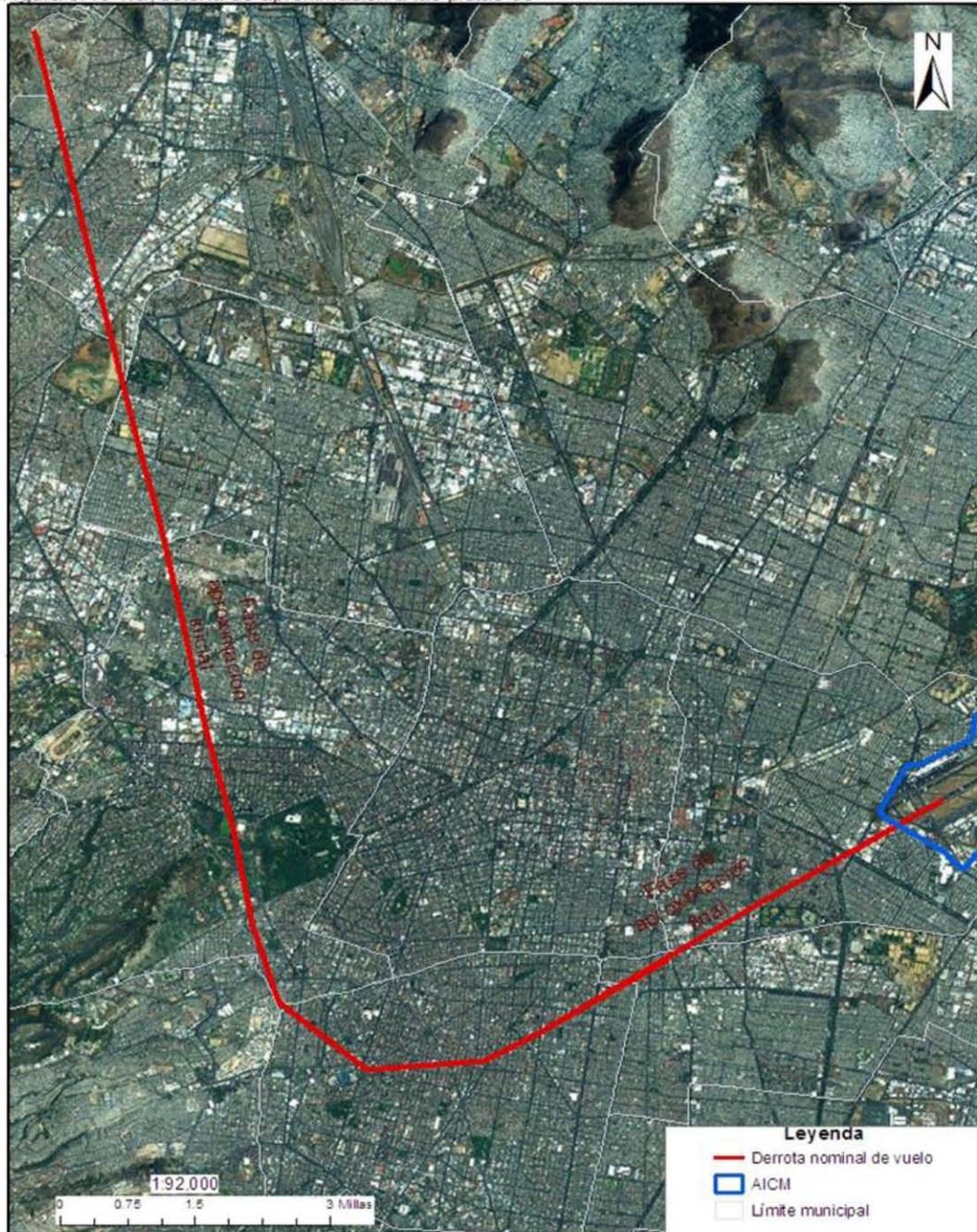
Debido a que tanto las operaciones de despegue como las de aterrizaje en el AICM se apegan a una serie de procedimientos publicados y establecidos en la Publicación de Información Aeronáutica (PIA), las aeronaves que operan en el aeropuerto capitalino deben seguir una ruta definida que establece los rumbos y altitudes que deben cumplir para alejarse o para aproximarse al AICM.

El conocimiento de estas rutas es muy útil para ayudar a definir sobre la superficie cuales son las áreas de la ZMVM sobre las que las aeronaves sobrevuelan diariamente, lo que permitiría identificar, entre otros aspectos, el número de habitantes, el tipo de infraestructura, el tipo de mobiliario urbano y la clase de servicios que se encuentran expuestos a las operaciones aéreas y que podrían ser vulnerables ante la eventualidad de un accidente de una aeronave que se encuentre despegando o aterrizando en el AICM.

Cuando las aeronaves despegan del AICM utilizando la pista 05, independientemente de que se utilice la derecha o la izquierda, las aeronaves se alejan del aeropuerto ascendiendo con rumbo hacia el noreste y, dado que esa área es la única alrededor del aeropuerto que actualmente se encuentra libre de obstáculos, no existen en la superficie asentamientos humanos ni ningún tipo de infraestructura que esté expuesta a la trayectoria que siguen las aeronaves, por lo que las operaciones de despegue no representan un riesgo elevado para el área sobre la que se llevan a cabo.

Caso contrario ocurre con las operaciones de aterrizaje en la pista 05, pues la trayectoria que siguen las aeronaves sobrevuela una amplia área urbana.

Figura 3.10 Trayectoria de aproximación a las pistas 05



Fuente: Elaboración propia con base en imagen World Imagery de ArcGis 10.1 .

Como ya se mencionó anteriormente, el procedimiento de aproximación a la pista 05R es un recorrido de 15.9 millas náuticas que cruza tres municipios del Estado de México y seis Delegaciones del Distrito Federal. Durante este recorrido sobre el área urbana, que se puede observar en la figura 3.10, (donde la línea roja marca la derrota nominal de vuelo, que es la trayectoria que siguen los aviones para aterrizar en las pistas 05 del AICM), las aeronaves atraviesan en descenso un espacio en donde existe una alta concentración de habitantes y donde se asienta todo tipo de infraestructura, desde casa habitación, áreas verdes y edificios de oficinas hasta hospitales y escuelas. Vialidades primarias, de las cuales la movilidad y conectividad de la ZMVM depende en gran medida, como Periférico, Reforma, Tlalpan, Viaducto, Av. Insurgentes, entre otras, son sobrevoladas diariamente en alguno de sus tramos por las aeronaves en su ruta de aproximación al AICM.

Espacios de concentración masiva como el Auditorio Nacional, el Bosque de Chapultepec, con los museos y atracciones que alberga, el Estadio Azul y la Plaza de Toros México se ubican también debajo o muy cerca de la trayectoria de aproximación a las pistas 05. Lugares como La Residencia Oficial de Los Pinos, el Campo Marte, así como algunas otras dependencias gubernamentales, tal es el caso de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, también están localizados y expuestos debajo del paso de las aeronaves.

En este último tramo de la aproximación a las pistas 05 del AICM las aeronaves cruzan una gran extensión de área urbana acercándose cada vez más a las edificaciones y a sus habitantes, pues el VOR/DME Mateo, fijo donde inicia la aproximación ubicado en Atizapán de Zaragoza, es sobrevolado por las aeronaves a una altitud de 10,300 pies (3,139.44 m). Este fijo lo abandonan volando rumbo SSE durante 9.2 millas náuticas (17.04 km) y descendiendo a 9,700 pies (2,956.5 m), para posteriormente virar a la izquierda hacia el rumbo NE y continuar descendiendo a 8,800 pies (2,682.24 m). Con este último viraje las aeronaves quedan alineadas a 4.74 millas náuticas (8.78 km) de las pistas 05 y deben continuar descendiendo hasta 7,316 pies (2,229.9 m) que es la elevación del AICM.

Si tomamos en consideración este último dato de la elevación del aeropuerto y los 10,300 pies a los que las aeronaves inician desde el VOR/DME Mateo su llegada al AICM, podemos determinar la altura sobre el terreno a la que las aeronaves cruzan cada uno de los tramos de la aproximación sobre la infraestructura y los habitantes del área urbana. Sobre el VOR/DME Mateo las aeronaves se encuentran a 909.52 m sobre el terreno. En el tramo en el que están en descenso a 9,700 pies, las aeronaves se acercan a 726.60 m sobre la superficie; mientras que en el tramo subsecuente en donde descienden a 8,800 pies la distancia entre el terreno y las aeronaves se reduce a 452.34 m. En las últimas 4.74 millas náuticas de la aproximación las aeronaves que aterrizan en el AICM reducen su separación

con el terreno, acercándose cada vez más a la superficie, las edificaciones y habitantes que ahí se encuentran, hasta llegar a tocar tierra en el AICM.



Figura 3.11 Aproximación corta a la pista 05R. Diciembre 15, 2002.

Fuente: <http://www.airliners.net>

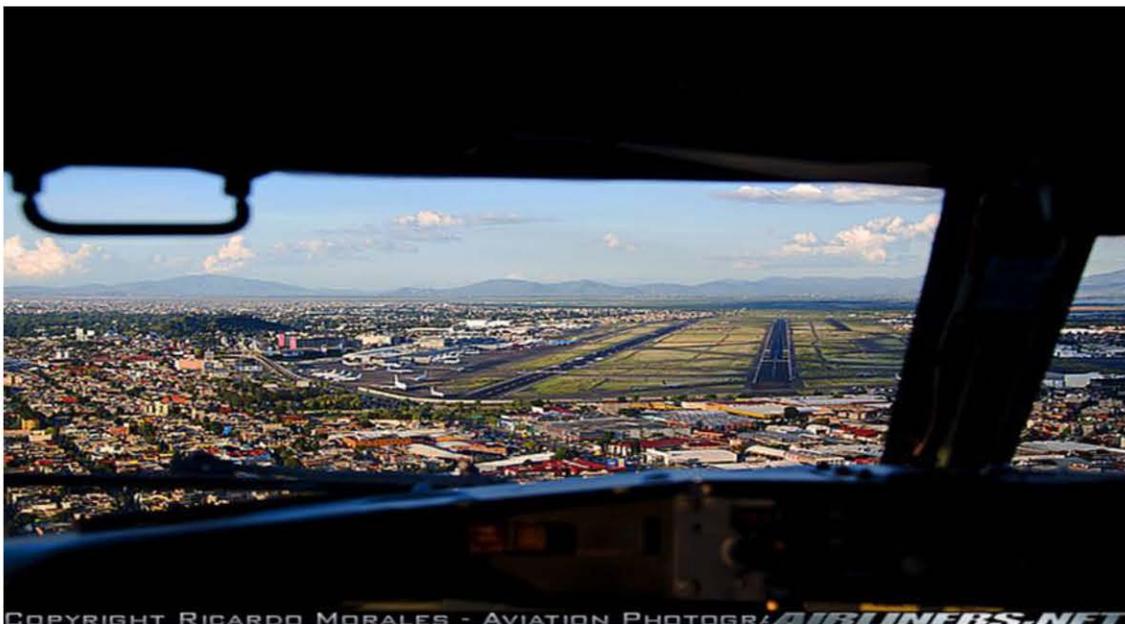


Figura 3.12 Aproximación corta a la pista 05R. Agosto 29, 2012.

Fuente: <http://www.airliners.net>

Las figuras 3.11 y 3.12 de la página anterior permiten apreciar cómo se observa desde la cabina de pilotos de las aeronaves el área urbana y la cercanía con que los aviones pasan sobre las personas y edificaciones en su ruta hacia la pista 05R.

No hay que pasar por alto que es precisamente la aproximación final la fase de vuelo que es considerada la etapa más crítica y difícil desde el punto de vista de los accidentes aéreos y que las afectaciones y repercusiones que pudiera traer consigo una aeronave accidentada en cualquier punto de esta ruta pudiera acarrear altos costos humanos, económicos y sociales.

3.2.4 El tipo de aeronaves que operan en el AICM.

Otra de las particularidades que hay que tomar en consideración cuando se analiza la posibilidad de un accidente aéreo tiene que ver con el tipo de aeronave que se podría ver involucrada en una situación de este tipo, ya que el impacto, las repercusiones y los daños que pudiera ocasionar una aeronave que se desploma en el terreno, así como las medidas de mitigación ante un suceso como este, pueden ser muy distintas dependiendo del tipo y las características de la aeronave de que se trate.

El AICM atiende una amplia gama de aeronaves cuyas dimensiones, peso, así como el número de pasajeros que pueden transportar son muy variados y se pueden convertir en factores importantes al momento de tratar de definir las medidas preventivas y correctivas que habrían de tomarse si alguna de ellas se viera envuelta en un accidente en algún tramo de la trayectoria de aproximación a las pistas 05. No será el mismo impacto, repercusiones y secuelas que pueda producir una aeronave de 22 m de longitud y 16,700 kg de peso (el caso de un ATR 42 – 500) que el que pudiera provocar una aeronave tipo Airbus 300 que mide 54 m y pesa 130,000 kg.

El cuadro 3.1 presenta algunas de las características de los tipos de aeronaves que operan diariamente en el AICM. Se ordenaron alfabéticamente y se enlistan las características de longitud, envergadura (distancia de punta a punta de las alas), número de pasajeros que pueden transportar y el peso vacío de las aeronaves por considerar que son estas particularidades las que más pueden influir sobre la infraestructura y la población si alguna de ellas llegara a desplomarse e impactar sobre el terreno.

Las dimensiones y capacidad de las aeronaves que utilizan diariamente las instalaciones del AICM y que sobrevuelan el área urbana de la ZMVM son muy diversas, pues algunas pueden rebasar apenas los 13 m de longitud y envergadura y transportar entre 5 y 7 pasajeros, como el caso del Sabreliner 60, y algunas otras superar los 75 m de longitud y transportar entre 380 y 475 pasajeros, como el Airbus 340 serie 600.

Cuadro 3.1 TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LAS AERONAVES QUE OPERAN DIARIAMENTE EN EL AICM.					
AERONAVE	LONGITUD (metros)	ENVERGADURA (metros)	CAPACIDAD DE PASAJEROS	PESO VACÍO (kilogramos)	IMAGEN
Airbus 300	54.10	44.84	266	130,000	
Airbus 319	33.84	34.10	124 - 156	58,500	
Airbus 320	37.57	34.10	150 - 180	62,500	
Airbus 340 - 300	63.69	60.30	295 - 440	183,000	
Airbus 340 - 600	75.36	63.45	380 - 475	251,000	
Antonov AN - 32	23.78	29.20	50	16,800	
ATR 42 - 500	22.67	24.57	46 - 50	16,700	
Boeing 727 - 200	41.50	32.92	134 - 155	61,700 – 65,400	
Boeing 737- 300	32.18	28.88	128 - 149	47,627 - 49,714	
Boeing 737 - 800	38.02	35.79	160 - 184	61,689	

Cuadro 3.1 TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LAS AERONAVES QUE OPERAN DIARIAMENTE EN EL AICM. (Continuación).					
AERONAVE	LONGITUD (metros)	ENVERGADURA (metros)	CAPACIDAD DE PASAJEROS	PESO VACÍO (kilogramos)	IMAGEN
Boeing 747 - 400	68.63	64.92	416 - 524	242,672	
Boeing 757 - 200	46.97	38.05	186 - 239	83,450	
Boeing 767 - 200	48.51	47.57	216 - 255	109,769 - 113,398	
Boeing 767 - 300	54.94	47.57	261 - 290	126,099	
Boeing 777 - 200	62.94	60.93	305 - 375	190,470 - 195,000	
Casa CN - 295	24.50	28.81	-----	23,200	
Cessna Citation II	14.39	15.90	8	3,655	
DC - 8 - 72 (Avión de carga)	46.60	45.23	0	88,452	
De Havilland DHC - 6 Twin Otter	15.77	19.80	19 - 20	2,653 - 3,121	
De Havilland DHC - 8 Dash 8	22.25	25.89	37 - 39	10,483	

Cuadro 3.1 TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LAS AERONAVES QUE OPERAN DIARIAMENTE EN EL AICM. (Continuación).					
AERONAVE	LONGITUD (metros)	ENVERGADURA (metros)	CAPACIDAD DE PASAJEROS	PESO VACÍO (kilogramos)	IMAGEN
Dornier 328	21.11	20.98	30 - 33	8,920	
Embraer ERJ - 145	29.87	20.04	50	17,900 – 18,500	
Embraer ERJ - 190	36.24	28.72	94 - 114	40,800	
IAI Arava (Militar)	12.69	20.96	16 - 24	3,999	
MD - 82	41.58	32.85	172	55,338	
Gulfstream III	25.32	23.72	19	17,236	
Learjet 24	13.18	10.84	6	3,324	
Learjet 25	14.50	10.84	8	3,645	
Learjet 35	14.71	11.97	8	4,590	
Learjet 45	17.68	14.58	9	5,829	

Cuadro 3.1 TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AERONAVES QUE OPERAN DIARIAMENTE EN EL AICM. (Continuación).					
AERONAVE	LONGITUD (metros)	ENVERGADURA (metros)	CAPACIDAD DE PASAJEROS	PESO VACÍO (kilogramos)	IMAGEN
Learjet 60	17.88	13.34	8	6,641	
MD - 11	61.20 – 61.60	51.97	323 - 410	181.440 – 195,048	
Sabreliner NA - 60	13.41	13.56	5 - 7	4,199	
Fuente: Elaboración propia con base en la información obtenida de los portales en línea de los fabricantes de aeronaves.					

Un aspecto importante a tomar en cuenta en relación con el tipo de aeronaves que operan en el AICM es la frecuencia con que operan cada una de estas aeronaves. Generalmente las aeronaves consideradas pequeñas, es decir, aquellas cuya longitud no rebasa los 25 m, como la serie Learjet, Sabreliner, De Havilland y Dornier, son utilizadas por la Secretaría de la Defensa Nacional, la Secretaría de Marina o alguna otra Secretaría del estado mexicano para cumplir con actividades oficiales, por lo que la frecuencia con que operan estas aeronaves está limitada en ocasiones a una operación por día. El caso del ATR 42 – 500, si bien es una aeronave considerada pequeña por su tamaño, al ser utilizada para la aviación civil comercial por la línea aérea Aeromar, presenta una frecuencia de vuelos muy alta.

Por otro lado, las aeronaves de longitud mayor a los 30 m, clasificadas como grandes, son las que operan con mayor frecuencia en el AICM, siendo el Boeing 737, el Airbus 319 y 320, así como el Embraer 145 y 190, las aeronaves que más frecuentemente operan en el aeropuerto capitalino. Las aeronaves más grandes y más pesadas que operan en el AICM, el Airbus 340 series 300 y 600, el Boeing 747 – 400 y el Boeing 777 – 200 son utilizadas principalmente por las líneas aéreas europeas Iberia, Air France, KLM y British Airways debido a su mayor capacidad para transportar pasajeros y carga en los vuelos directos de Europa a la Ciudad de México, por lo que si bien su frecuencia no es muy alta, si tienen presencia todos los días durante las horas de mayor congestión en el AICM.

En términos generales, se puede decir que son las aeronaves que pueden transportar una mayor cantidad de pasajeros y que pueden almacenar una mayor cantidad de carga, las que son operadas por las líneas aéreas comerciales con mayor frecuencia durante las 24 horas del día en el AICM.

3.3 La temporalidad en las operaciones aéreas en el AICM.

Dentro del análisis de riesgos es importante determinar, además del espacio que puede verse afectado, la dimensión temporal del fenómeno que se está analizando, ya que tanto el agente perturbador, como el o los sistemas afectables pueden estar presentes en el espacio por periodos temporales y no de forma permanente.

En el caso que nos ocupa, el agente perturbador está representado por las aeronaves que efectúan el procedimiento de aproximación final a las pistas 05, mientras que la población que habita y la que lleva a cabo sus actividades cotidianas bajo la trayectoria que siguen las aeronaves, así como la infraestructura ubicada en esta ruta, constituyen el sistema afectable. Determinar la temporalidad de las operaciones aéreas en el AICM permite definir cuáles serían los periodos de tiempo durante los que la población e infraestructura estarían más expuestas a las aeronaves, lo que podría llevar a una mejor planeación y planificación en caso de una emergencia.

Si tomamos en consideración que el AICM presta servicio las 24 horas del día durante 365 días al año y que de acuerdo con los datos proporcionados por la propia terminal aérea, en el año 2012 se atendieron 377,743 operaciones, se concluye que mensualmente se atendieron en promedio de 31,478 operaciones, o bien, que diariamente se atendieron 1,034 aeronaves.

Sin embargo, el número de las operaciones aéreas puede variar en función de factores muy diversos (crisis económicas, salida o entrada al mercado de nuevas líneas aéreas, el cierre o apertura de nuevas rutas, la incorporación de nuevas aeronaves a las flotas de las compañías aéreas, periodos vacacionales, etc.) por lo que las operaciones aéreas en el AICM no presentan una distribución homogénea; de hecho, puede haber variaciones considerables en el número de aviones que se atienden en el aeropuerto dependiendo del mes del año, del día de la semana o de la hora del día.

Debido a que se pretende definir el número de población y el tipo de infraestructura que pudiera verse vulnerable ante la eventualidad de un accidente aéreo en la fase de

aproximación final cuando se encuentran en uso las pistas 05 en el AICM (tomando en consideración que entre el 80% y 90% del tiempo de utilización de pistas en el AICM corresponde a dichas pistas) se requiere, primero, determinar del total de aeronaves que utilizan la terminal aérea; qué porcentaje corresponde a aterrizajes y qué porcentaje a despegues para tener una idea más clara de cuantas aeronaves sobrevuelan la trayectoria que cruza una amplia área urbana de la ZMVM.

De acuerdo con Herrera (2012) una revisión de la actividad aérea del AICM durante 2010 mostró que en promedio se realizaron 888 operaciones/día. También se observó un equilibrio entre la cantidad de llegadas (50.04%) y salidas (49.96%).

Partiendo de este dato que establece que las operaciones aéreas que se presentan en el AICM muestran un balance entre el número de despegues y aterrizajes se pueden analizar las operaciones por mes, semana y día para encontrar, en la medida de lo posible, elementos que permitan definir los momentos en los que la actividad aérea puede representar el mayor riesgo.

3.3.1 Operaciones aéreas por mes en el AICM.

Anualmente el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México da a conocer el total de operaciones aéreas, pasajeros y carga que son atendidos por la terminal aérea. Como en este caso nos interesa definir el número de aeronaves que sobrevuelan el área urbana en el procedimiento de aproximación final a las pista 05, con la intención de establecer qué tan expuesta se encuentra la población e infraestructura a este fenómeno, se analizaron las estadísticas de las operaciones aéreas, anuales y mensuales en el AICM durante el periodo 2005 – 2012 con la intención de identificar los meses del año en los que las operaciones aéreas presentan mayor actividad.

En términos totales, las estadísticas del período 2005 – 2012 presentan números muy heterogéneos que son el reflejo de una etapa que a nivel mundial se caracterizó por una fuerte inestabilidad económica que repercutió directamente en el comportamiento de la actividad aérea. Dentro de este periodo, el año 2005 se presentó como el de menor número de operaciones aéreas, mientras que 2007 es el año de mayor actividad aérea en la historia del AICM. Entre 2008 y 2010 la tendencia estuvo marcada por un descenso constante en el número de operaciones hasta que en los años 2011 y 2012 esta tendencia se revirtió, presentándose una recuperación considerable en el número de aeronaves que fueron atendidas en el AICM, a tal punto que el año 2012 tuvo tan sólo 418 operaciones menos que el año 2007.

En cuanto al análisis de las cifras mensuales se elaboró un cuadro comparativo (cuadro 3.2) con los datos sobre el número de operaciones aéreas que atendió mensualmente el AICM

entre los años 2005 – 2012. Se identificaron los tres meses de cada año que presentaron el mayor número de operaciones con el objetivo de definir si existe una tendencia que permita establecer los meses en los que el AICM atiende el mayor número de aeronaves.

Cuadro 3.2 OPERACIONES AÉREAS MENSUALES EN EL AICM 2005 – 2012								
MES	AÑO							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ENE	26,583	29,103	31,618	31,695	30,746	28,861	26,774	30,347
FEB	25,475	26,930	28,366	29,561	28,249	26,045	24,655	27,802
MAR	28,192	30,613	31,519	31,558	31,342	29,379	28,756	31,486
ABR	27,702	27,912	30,177	30,978	30,107	28,917	28,306	29,702
MAY	28,130	30,007	32,549	31,017	25,609	30,698	29,496	31,824
JUN	26,934	29,463	31,616	29,614	28,242	30,521	28,990	31,303
JUL	29,379	29,988	33,605	31,302	29,833	32,289	30,105	32,853
AGO	29,312	30,315	33,620	30,669	29,379	30,209	31,076	32,760
SEP	27,087	29,108	31,045	28,596	27,458	22,673	29,597	31,239
OCT	27,398	30,413	32,357	31,186	29,171	26,256	30,434	33,090
NOV	27,512	30,616	30,695	29,768	28,870	26,712	30,781	32,411
DIC	28,919	31,125	30,994	30,617	29,300	27,338	31,062	32,926
TOTAL	332,623	355,593	378,161	366,561	348,306	339,898	350,032	377,743
<p> ■ Mes con mayor número de operaciones ■ Segundo mes con mayor número de operaciones ■ Tercer mes con mayor número de operaciones </p>								
Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México 2005 – 2012.								

Las cifras mensuales de las operaciones aéreas de los ocho años analizados muestran que difícilmente se puede establecer un patrón que sugiera una distribución homogénea en cuanto a los meses de mayor operación, ya que los tres meses de mayor actividad varían considerablemente de un año a otro. Sin embargo, se puede observar que julio y diciembre aparecen en repetidas ocasiones dentro de los tres meses de mayor actividad aérea. Julio aparece en cinco de los ocho años analizados como uno de los meses de mayor actividad, mientras que diciembre aparece en cuatro de los ocho años como uno de los meses más activos. Ambos meses se encuentran asociados con periodos de vacaciones, época en la que algunas compañías aéreas aumentan las frecuencias de algunos vuelos, lo que podría explicar la participación de julio y diciembre entre los meses de mayor actividad aérea.

3.3.2 El comportamiento semanal de las operaciones aéreas en el AICM.

A diferencia de la actividad mensual, cuyo comportamiento es difícil de definir debido a que múltiples factores influyen en el número de operaciones que se pueden presentar mensualmente, la actividad semanal de las operaciones aéreas en el AICM presenta un comportamiento cíclico que ha sido estudiado y definido por Herrera (2001 y 2012) en el que se observa que el número de operaciones aéreas tiende a disminuir durante el fin de semana (sábados y domingos) y muestra una recuperación que inicia el lunes, cuando las operaciones aéreas comienzan a incrementarse, y continúan con esa tendencia hasta el viernes, para después volver a descender.

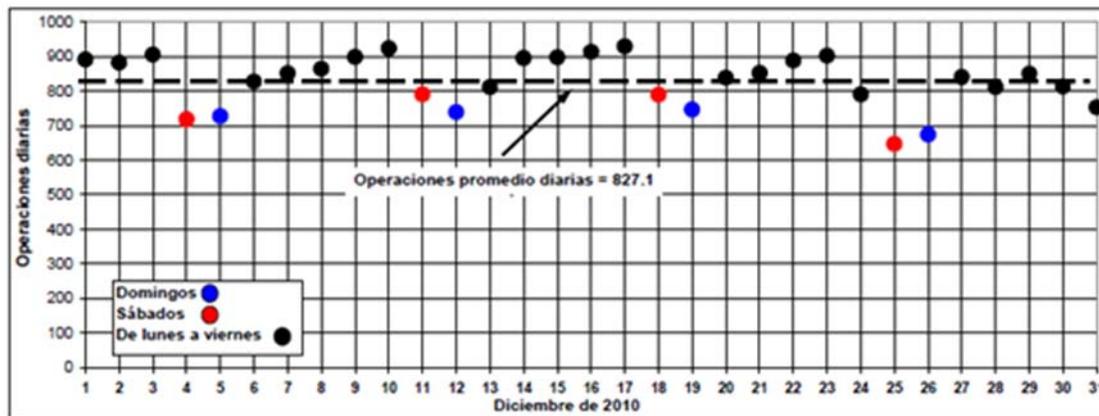


Figura 3.13 Operaciones diarias en el AICM durante el mes de diciembre de 2010.

Fuente: Herrera García, Alfonso. 2012.

Este comportamiento cíclico se puede observar en la figura 3.13 que refleja las operaciones aéreas que se presentaron diariamente en el AICM durante diciembre de 2010. Se puede apreciar que los sábados y domingos el número de operaciones se encuentra por debajo del promedio de operaciones diarias, mientras que a partir del lunes el número de operaciones comienza a repuntar para ubicarse, entre martes y viernes, por encima del promedio diario, siendo los jueves y viernes los días en que se presentan el mayor número de operaciones aéreas. Cabe señalar que los días 24 y 31 de diciembre son días en los que tradicionalmente el número de operaciones aéreas disminuye notablemente y, dado que en diciembre de 2010 dichas fechas coincidieron con el día viernes, se observa menor actividad aérea en los dos últimos viernes del mes en comparación con los tres primeros viernes de diciembre, en donde el último día de la semana laboral presenta el mayor número de operaciones en cada una de las tres semanas. Se puede concluir, entonces, que jueves y viernes son los días de la semana en que existe mayor cantidad de vuelos operando en el AICM.

3.3.3 La actividad aérea por hora en el AICM.

El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México atiende despegues y aterrizajes de aeronaves durante las 24 horas del día; sin embargo, a lo largo del día el comportamiento de la actividad aérea puede presentar variaciones significativas derivadas de la demanda por parte de los usuarios del transporte aéreo que al requerir un mayor número de asientos disponibles para algunos destinos, tanto nacionales como internacionales, ha contribuido a que las compañías aéreas incrementen, en horarios que resulten más convenientes para los usuarios, la frecuencia de algunos de los vuelos de mayor demanda, con la intención de satisfacer los requerimientos de una población que incrementa día con día la demanda de transporte aéreo.

Esta situación ha traído como resultado que en el transcurso del día la actividad aérea presente algunas horas en donde el flujo de aeronaves aterrizando y despegando en el AICM sea muy intenso, pero también existen lapsos del día en donde la actividad de las aeronaves es prácticamente nula.

Dado que el presente trabajo pretende identificar el número de población y el tipo de infraestructura que se pueden ver expuestos ante la eventualidad de un accidente aéreo que tenga lugar en algún segmento de la fase de aproximación, cuando en el AICM se utilizan las pistas 05 para el aterrizaje, es necesario identificar las horas del día en que se presentan el mayor número de aterrizajes para intentar definir qué tan vulnerable se encuentra la población e infraestructura expuesta a un fenómeno de esta naturaleza.

Esto es necesario en función de que el posible impacto y repercusiones que pudiera traer consigo una aeronave que se precipite a tierra, en una zona cuyo uso de suelo predominante sea habitacional, por ejemplo, no sería el mismo si el suceso ocurre al medio día o por la noche, debido a que se podría suponer que al medio día los moradores de la zona afectada podrían encontrarse fuera de su residencia desempeñando actividades laborales y/o académicas, por lo cual no estarían expuestos en su persona a las consecuencias de un accidente, siendo la infraestructura y los bienes materiales los más afectados. El caso contrario se podría presentar si el percance tuviera lugar en horas de la noche, cuando los habitantes podrían estar ocupando sus residencias con lo cual quedarían tan expuestos como la infraestructura a los efectos de un accidente.

Partiendo de este hecho y con el objetivo de definir a lo largo de un día de operación, las horas más críticas en lo que se refiere al número de aterrizajes en el AICM, se revisó la información estadística disponible al respecto con la intención de establecer los horarios en los que la exposición de la población e infraestructura a las operaciones aéreas es mayor.

En este punto cabe mencionar que el 17 de abril de 2013 se publicó en Diario Oficial de la Federación, la declaración de saturación en el campo aéreo del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México en donde se estableció que la capacidad máxima de operación del aeropuerto, determinada con base a métodos empíricos y teóricos, es de 61 operaciones por hora con un máximo de 40 llegadas.

A partir de este dato se procedió a declarar la saturación en el campo aéreo del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México “Benito Juárez”, en los siguientes horarios:

De las 6:00 a las 6:59 horas; de las 7:00 a las 7:59 horas; de las 8:00 a las 8:59 horas; de las 9:00 a las 9:59 horas; de las 16:00 a las 16:59 horas; de las 17:00 a las 17:59 horas; de las 18:00 a las 18:59 horas y de las 19:00 a las 19:59 horas.(DOF, 2013).

Esta declaratoria establece que entre las 6 y 10 am, así como entre las 4 y 8 pm el AICM se encuentra en el límite de las 61 operaciones que puede atender cada hora, lo que significa que durante cuatro horas por la mañana y cuatro horas durante la tarde-noche el aeropuerto presenta la mayor actividad de operaciones aéreas. Sin embargo, este documento no establece cuántas de las operaciones que se presentan durante estos lapsos corresponden a aterrizajes y cuántas a despegues.

Con el fin de obtener esta información fue necesario remitirse a las estadísticas proporcionadas por el AICM que en sus reportes anuales de operación incluyó, en el año 2006 y 2007, la información de las operaciones promedio por hora especificando cuántas de estas correspondían a aterrizajes y cuántas a despegues. A partir del informe de operaciones del año 2008 esta información ya no fue presentada, por lo que los datos que se tienen disponibles sólo abarcan dos años. No obstante, la información correspondiente al año 2007 puede ser representativa en virtud de que este es el año de mayor actividad en cuanto al número de operaciones aéreas en el AICM.

La figura 3.14 presenta las operaciones por hora correspondientes al año 2006. De la gráfica se desprende que en el periodo comprendido entre las 00:00 y las 7:00 se presentó un promedio de aterrizajes realmente bajo, sólo entre las 00:00 y las 00:59 se presentaron más de 10 aterrizajes (11.3 en promedio), mientras que entre las 2:00 y las 7:00 el número de aterrizajes se ubicó por debajo de esa cifra. A partir de las 8:00 se observó que el número de aterrizajes comenzó a aumentar y que entre las 9:00 y las 23:00 el promedio se ubicó por arriba de 20 por hora, siendo el lapso entre las 10:00 y las 10:59 el de más operaciones de aterrizaje durante la mañana. Por su parte, durante la tarde los intervalos que presentaron el mayor número de aterrizajes fueron de las 13:00 a las 13:59; de las 20:00 a las 20:59 y de las 21:00 a las 21:59. Cada uno de estos intervalos presentó más de 30

aterrizajes en promedio, convirtiéndolas en las horas con el mayor número de aterrizajes en el AICM durante el año 2006.



Figura 3.14 Operaciones promedio por hora en el AICM. Año 2006.

Fuente: Estadísticas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México año 2006.

Por su parte, durante el año 2007 la distribución de los aterrizajes por hora presentó también dos comportamientos. (Figura 3.15). El primero, al igual que en el año 2006, se observó entre las 24:00 y las 7:00, donde el intervalo entre las 00:00 y las 00:59 es nuevamente el más activo en lo que al número de aterrizajes se refiere con un promedio de 13.8 operaciones.

El segundo comportamiento tuvo lugar después de las 8:00 y hasta las 23:00, intervalo en el cual se presentó el mayor número de aterrizajes, siendo entre las 10:00 y las 10:59, con 31.7 aterrizajes promedio, el intervalo más activo durante el transcurso de la mañana. Durante la tarde se presentó un aumento considerable en el número de aterrizajes con respecto al año 2006, pues los intervalos comprendidos de las 13:00 a las 13:59; de las 14:00 a las 14:59; de las 19:00 a las 19:59; de las 20:00 a las 20:59 y de las 21:00 a las 21:59 tuvieron más de 30 operaciones de aterrizaje en promedio. Los intervalos de las 18:00 a las 18:59 y de las 22:00 a las 22:59 se ubicaron ligeramente por debajo del promedio de las 30 operaciones con 29.1 y 29.7 operaciones por hora, respectivamente. De esta forma se superaron las cifras del año 2006 que presentó 3 intervalos con más de 30 aterrizajes promedio; mientras que durante el año 2007 el número de intervalos que presentaron un promedio mayor a los 30 aterrizajes fue de 6.

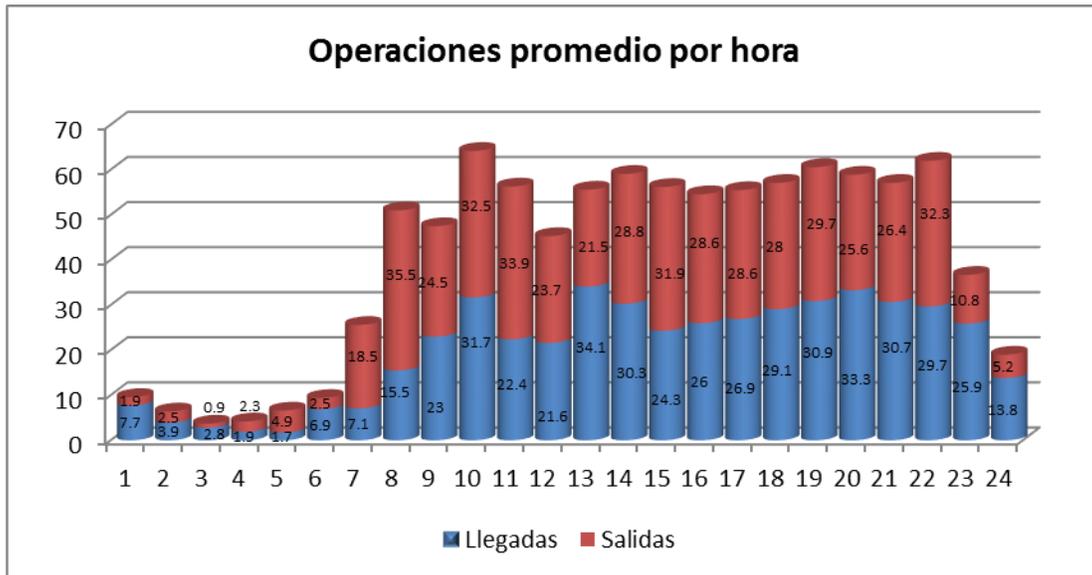


Figura 3.15 Operaciones promedio por hora en el AICM. Año 2007.
 Fuente: Estadísticas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México año 2007.

Con base en la información estadística de las operaciones promedio por hora en el AICM se puede determinar que es durante los intervalos de las 10:00 a las 10:59; de las 13:00 a las 13:59; de las 14:00 a las 14:59; de las 19:00 a las 19:59; de las 20:00 a las 20:59 y de las 21:00 a las 21:59 cuando aumenta el número de aeronaves y la frecuencia con que recorren la fase de aproximación final para aterrizar en el AICM. Partiendo del hecho de que las operaciones aéreas en el aeropuerto capitalino se llevan a cabo utilizando predominantemente las pistas 05, y por lo tanto las aeronaves en su recorrido para aterrizar sobrevuelan una extensa área densamente poblada y urbanizada, la población e infraestructura que se ubican debajo de esta trayectoria están mayormente expuestas durante la tarde y la noche.

Capítulo 4. MAPA DE RIESGO EN CASO DE UN ACCIDENTE AÉREO EN LA APROXIMACIÓN A LAS PISTAS 05 EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

4.1 Delimitación del área de peligro.

La operación del transporte aéreo en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México es una actividad sumamente compleja que contribuye de manera positiva al desarrollo económico, social y cultural, tanto de la ZMVM como del país, pues facilita y agiliza los intercambios económicos, comerciales y culturales entre las diversas regiones del país y entre México y el mundo.

Sin embargo, debido a los múltiples factores que involucra en los que intervienen el elemento tecnológico y el elemento humano, la operación del transporte aéreo puede presentar algunos aspectos que podrían ser asociados con impactos negativos, pues aun y cuando los estrictos estándares y políticas de seguridad que se aplican para salvaguardar la seguridad del medio aeronáutico y de los usuarios, permiten establecer que el avión es el medio de transporte más seguro que existe hoy en día, el riesgo de un accidente aéreo es una cuestión inherente a la operación de las aeronaves que puede cobrar gran relevancia debido a que el impacto y las consecuencias de una aeronave accidentada pueden afectar no solo a las compañías aéreas y usuarios de este medio de transporte, sino también el entorno físico, social y económico del área donde se produzca el percance.

El grado de afectación y las consecuencias de un accidente aéreo dependen de condiciones muy específicas, como las características físicas de la infraestructura, las características socioeconómicas de los asentamientos humanos, el valor funcional y estratégico de los equipamientos y la actividad económica predominante en el área donde tenga lugar el accidente. Por este motivo, cobra relevancia el hecho de delimitar geográficamente el área que pudiera verse afectada por un accidente aéreo, ya que esto permitiría identificar con mayor certidumbre el tipo de infraestructura, el número de habitantes y características de la población, así como las actividades productivas que se encuentran ubicadas dentro de la zona de riesgo de un accidente de aviación, lo que permitiría establecer de forma más precisa mecanismos de prevención y, de ser necesario, un plan de emergencia para atender este tipo de eventualidad.

Sin embargo, uno de los mayores retos que enfrenta el análisis de un accidente aéreo es el de definir la extensión del área que se puede ver afectada. Delimitar con precisión el área expuesta cuando se analizan riesgos de tipo tecnológico, como en este caso, resulta muy complejo debido a los diversos factores que involucran. En el caso de la operación de una aeronave aspectos como la posición de la aeronave al momento del accidente, el tamaño y

el peso de la aeronave o la velocidad con la que se podría precipitar a tierra son algunos de los elementos que pueden influir en el área que se puede ver afectada.

Por esta razón, para la delimitación del espacio susceptible de ser afectado por un accidente aéreo se recurrió a los procedimientos que establece la OACI para definir los espacios que puede utilizar una aeronave en cada una de las fases de vuelo. Dependiendo de la etapa de vuelo en la que se encuentra una aeronave, la OACI establece una serie de áreas confinadas en forma de corredores que tienen dimensiones definidas en la horizontal y, donde es necesario, garantiza el franqueamiento de obstáculos (una separación vertical mínima entre la aeronave y los obstáculos más altos). La delimitación del área de riesgo para el caso del AICM toma como base las dimensiones del corredor que utilizan las aeronaves en la fase de aproximación final.

Como ya se ha establecido, la fase de aproximación final es la etapa más crítica de las operaciones aéreas y donde se presenta el mayor porcentaje de accidentes de aviación en el mundo. Esto significa que las inmediaciones del AICM es el espacio más expuesto y vulnerable ante la eventualidad de un accidente. Dado que la operación de las aeronaves en el AICM se lleva a cabo primordialmente utilizando las pistas 05, la zona hacia el oeste y noroeste del aeropuerto, donde está establecida la trayectoria de la fase de aproximación final, es la que se puede ver más afectada y vulnerable y donde las repercusiones y consecuencias de un accidente puede tener los mayores impactos negativos.

4.1.1 Delimitación geográfica de la fase de aproximación final a las pistas 05.

La trayectoria de aproximación a las pistas 05 se considera un procedimiento de vuelo por instrumentos, ya que los aviones se guían utilizando los instrumentos para la navegación aérea instalados a bordo de la aeronave y las radioayudas instaladas en tierra. Precisamente, a partir de las radioayudas en tierra se establece un corredor cuya área garantiza que la trayectoria de aproximación proporcione las áreas esenciales y los requisitos de franqueamiento de obstáculos para poder realizar con seguridad las operaciones de aterrizaje. Criterios como la topografía del área adyacente al aeropuerto, el tipo de aeronaves que utilizaran dicha trayectoria y la pericia de los pilotos son factores que toman en consideración las autoridades aeronáuticas y los encargados de diseñar los espacios aéreos para establecer las áreas de protección y el margen de libramiento de obstáculos de la trayectoria de aproximación.

El procedimiento de aproximación final por instrumentos a las pistas 05 del AICM está compuesto por dos tramos; el primero, llamado tramo de aproximación inicial, comienza en el radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia conocido como VOR/DME Mateo y termina en el fijo de aproximación final (FAF, por sus siglas en inglés) conocido como PLAZA.

El segundo tramo, que se denomina tramo de aproximación final, comienza en PLAZA y termina a 0.72 millas náuticas (1.33 km) de la radioayuda VOR/DME México ubicada dentro del AICM.

En el caso del libramiento de obstáculos para la aproximación final por instrumentos a las pistas 05 del AICM se debe de cumplir con los criterios establecidos por la OACI, que parten de un espacio con forma de corredor en donde se establece un área primaria y un área secundaria a partir de la derrota (proyección sobre la superficie terrestre de la trayectoria de una aeronave) que debe volar la aeronave para cumplir con el procedimiento de aproximación y quedar correctamente alineada a la pista para completar el aterrizaje. A lo largo de la derrota nominal de vuelo, se establece un área de protección. Normalmente, el área se dispone simétricamente a cada lado de la derrota prevista. En principio esta área se subdivide en área primaria y área secundaria. Sin embargo, en algunos casos sólo se permiten áreas primarias. Cuando se permiten áreas secundarias, la mitad exterior de cada lado del área (normalmente 25% de la anchura total) se designa como área secundaria. (OACI, 2006).

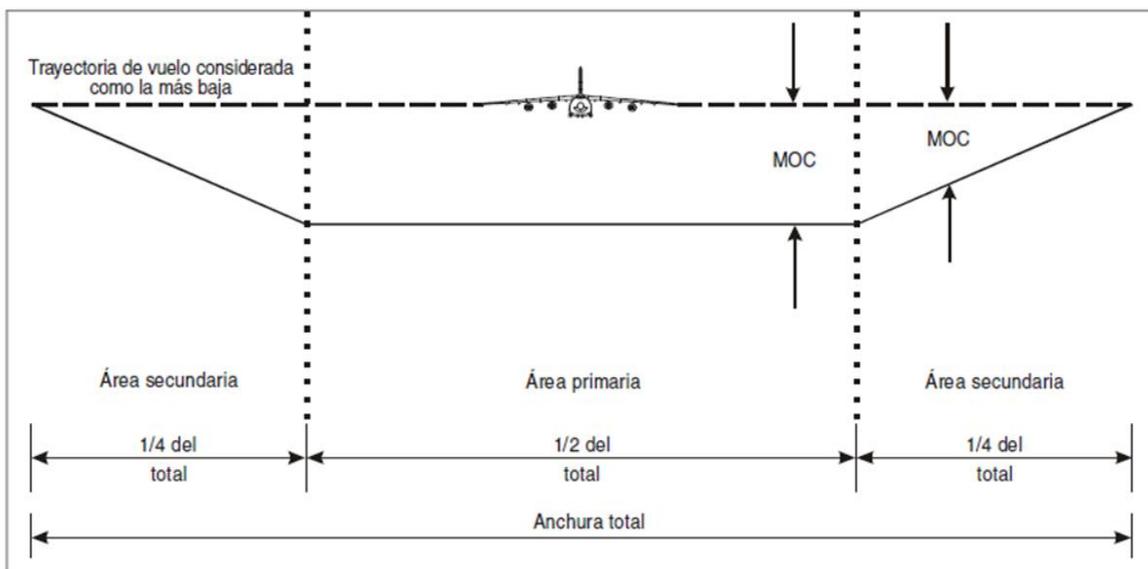


Figura 4.1. Corte del área de tramo en línea recta, indicando las áreas de protección primaria y secundaria.

Fuente: OACI 2006.

A partir de la definición de las áreas primaria y secundaria se establece, para cada una de ellas, un margen de franqueamiento de obstáculos que garantiza un área de protección entre la aeronave y los obstáculos más altos sobre el terreno. (Figura 4.1). Desde el punto de vista de la operación del manejo del tráfico aéreo, el franqueamiento de obstáculos es

la principal consideración a tomarse en cuenta cuando se establece un procedimiento de aproximación por instrumentos, debido a que en este segmento la aeronave se acerca cada vez más a la superficie y se debe garantizar que mantenga una altitud que le permita sobrevolar sin peligro los obstáculos más elevados.

De acuerdo con la OACI (2006) en el área primaria el margen de franqueamiento de obstáculos se proporciona de forma uniforme en toda el área, mientras que en el área secundaria el franqueamiento de obstáculos se reduce en forma lineal desde el total de franqueamiento en el borde interior hasta cero en el borde exterior. De esta forma el procedimiento de aproximación final se establece a manera de corredor, con dimensiones definidas en la horizontal y con un área de protección para libramiento de obstáculos en la vertical.

Para el procedimiento de aproximación final a las pistas 05 en el AICM el margen mínimo de franqueamiento de obstáculos (MOC) en el tramo de aproximación inicial ha sido establecido a 1,000 pies (304.8 metros) en el área primaria y a 500 pies (152.4 metros) en el borde interior del área secundaria, disminuyendo hasta 0 pies en el borde exterior. En el tramo de la aproximación final el franqueamiento de obstáculos no se puede establecer de forma general para todo el tramo debido a que en este punto la aeronave se acerca cada vez más a la superficie y, por lo tanto, a los obstáculos por lo que en este tramo se establece una altura de libramiento de obstáculos que está basada en una serie de complejos cálculos matemáticos a partir del ángulo con que las aeronaves se acercan al aeropuerto y que va disminuyendo conforme la aeronave se acerca a la pista, pero que garantiza la operación segura de las aeronaves.

Si bien, ya se mencionó que desde el punto de vista operacional el franqueamiento de obstáculos es el principal factor a considerar cuando se construye el área de aproximación a un aeropuerto, para fines de este proyecto el factor que cobra mayor relevancia es el de las dimensiones horizontales de las áreas primaria y secundaria. Conocer las dimensiones de ambas áreas permite identificar qué tanto se extiende sobre la superficie el procedimiento de aproximación final, lo que lleva a delimitar el área de riesgo de un accidente aéreo y la vulnerabilidad de los sistemas expuestos.

El establecimiento de las áreas de protección primaria y secundaria del procedimiento de aproximación final se hace de acuerdo con los lineamientos establecidos por la OACI. La definición de dichos espacios es un proceso complejo que toma en cuenta diversos factores (la ubicación y características del aeropuerto, la topografía, los tipos de aeronaves que utilizaran el procedimiento y las condiciones climatológicas) que deben ser analizados por un grupo de especialistas para poder definir las dimensiones de los corredores aéreos que garanticen la seguridad de las operaciones. En México la responsabilidad de llevar a cabo

estos análisis y establecer las dimensiones de los espacios aéreos recae en el órgano desconcentrado Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

De acuerdo con SENEAM el área de protección del tramo de aproximación inicial se divide en un área primaria que se extiende simétricamente 2.5 millas náuticas (4.6 km) a cada lado de la derrota nominal de vuelo y un área secundaria que proporciona 2.5 millas náuticas (4.6 km) adicionales a cada lado del área primaria. En el tramo del viraje para interceptar el fijo de aproximación final (FAF por sus siglas en inglés) el área de protección primaria se ensancha del lado donde se efectúa el viraje para proteger el giro que hace la aeronave para alinearse a la pista, por lo que entre el FAF (conocido como PLAZA) y el límite del área de protección, el área primaria alcanza 6.8 millas náuticas (12.59 km).

En el tramo de aproximación final, debido a que la precisión del Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (ILS), que se utiliza para proporcionar la guía a las aeronaves en este tramo es mayor, el área de protección se reduce de forma considerable. Entre PLAZA y el fijo a 0.72 millas náuticas (1.33 km) de la radioayuda VOR/DME México se establece un área de protección a ambos lados de la derrota nominal de vuelo, en forma de cono, que en su parte más angosta mide 0.33 millas náuticas (0.61 km), y en el extremo más ancho tiene una longitud de 1.7 millas náuticas (3.15 km).

De esta forma, al incluir las áreas de protección de los tramos de aproximación inicial y de aproximación final se forma un polígono alrededor de la derrota nominal de vuelo (Figura 4.2) que define el área total que puede ser utilizada por cualquier aeronave que esté efectuando el procedimiento de aproximación por instrumentos a las pistas 05 del AICM.

Debido a que desde el punto de vista teórico una aeronave que esté llevando a cabo el procedimiento de aproximación final a las pistas 05 se podría encontrar en cualquier punto de este polígono, el área contenida dentro de éste será el punto de partida para determinar el número de habitantes y las características de la infraestructura que pueden estar en riesgo ante la eventualidad de un accidente aéreo.

A partir del diagrama elaborado por SENEAM, que establece la ubicación geográfica de las radioayudas VOR/DME Mateo y VOR/DME México, la derrota nominal de vuelo y las distancias de cada área de protección se obtuvieron las coordenadas geográficas de 17 puntos extremos del perímetro del polígono para ubicar la posición geográfica que guarda éste con respecto a la superficie y poder determinar el área de exposición a un accidente aéreo durante la fase de aproximación a las pistas 05 del AICM. En el cuadro 4.1 se pueden observar las coordenadas geográficas de los 17 puntos extremos que conforman el polígono de riesgo y la demarcación política en la que se ubica cada uno de ellos. La identificación de

estos puntos forma parte del proceso metodológico para la definición del área de riesgo correspondiente al AICM.

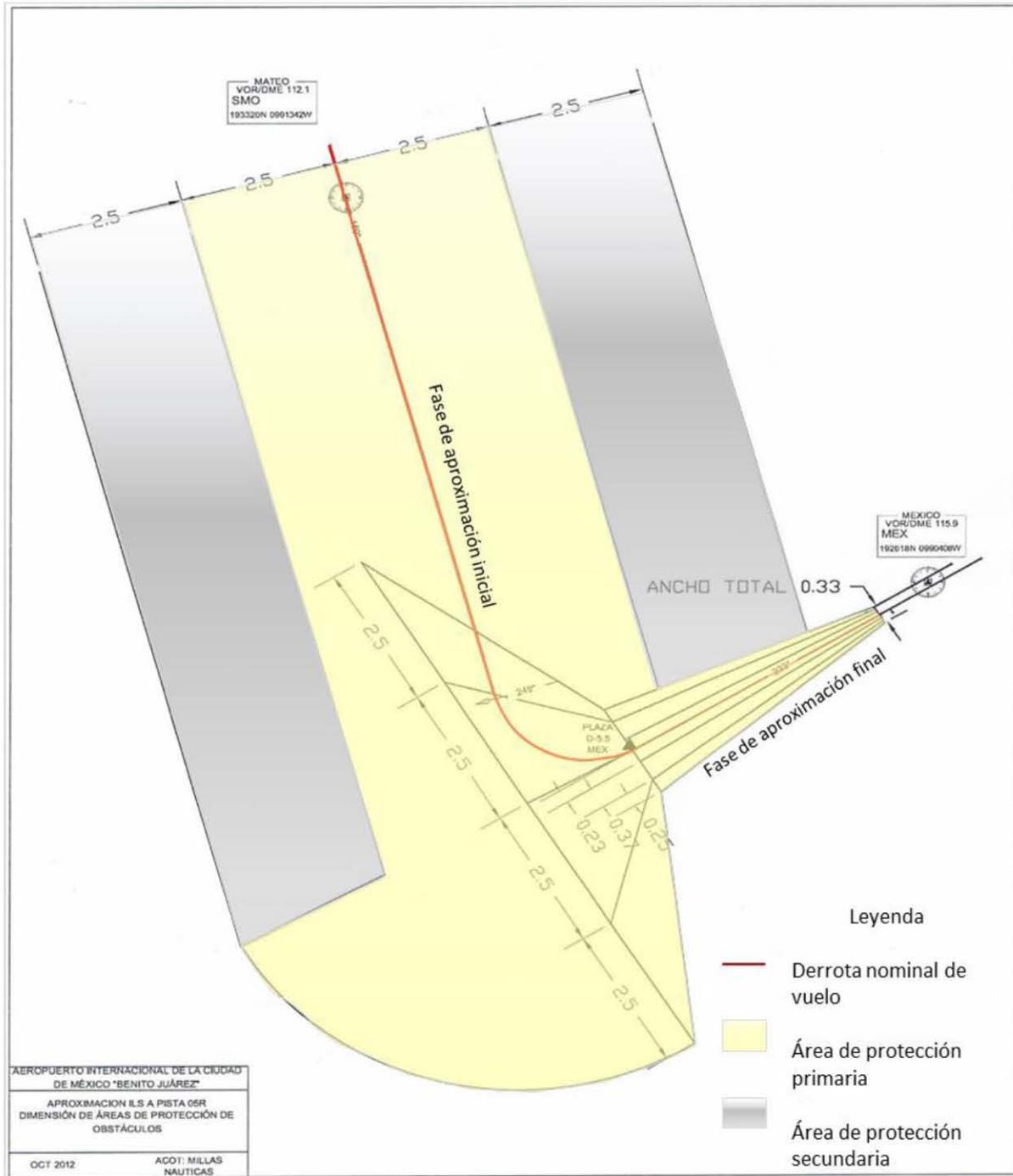


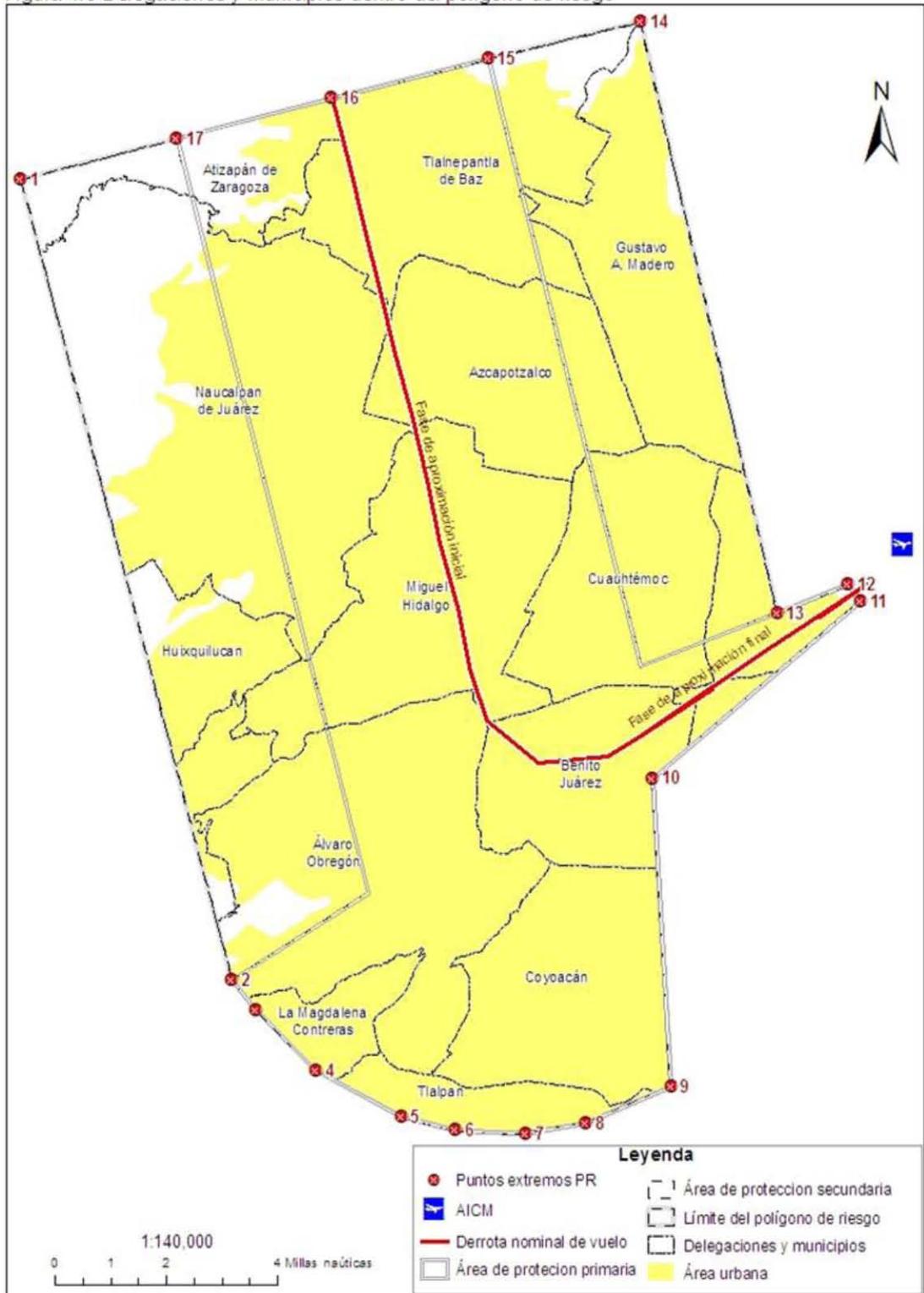
Figura 4.2 Aproximación final con áreas primaria y secundaria.
Fuente: SENEAM, 2012a, con modificaciones propias.

Cuadro 4.1 Ubicación geográfica de los puntos extremos en el polígono de riesgo.			
PUNTO	LATITUD (N)	LONGITUD (W)	UBICACIÓN
1	19°32'11''	99°18'53''	Atizapán de Zaragoza, Edo. Mex.
2	19°19'51''	99°15'38''	Álvaro Obregón, D. F.
3	19°19'23''	99°15'14''	Magdalena Contreras, D. F.
4	19°18'27''	99°14'16''	Magdalena Contreras, D. F.
5	19°17'43''	99°12'52''	Tlalpan, D.F.
6	19°17'29''	99°11'58''	Tlalpan, D.F.
7	19°17'25''	99°10'48''	Tlalpan, D.F.
8	19°17'33''	99°09'48''	Tlalpan, D.F.
9	19°18'05''	99°08'23''	Coyoacán, D. F.
10	19°22'49'	99°08'35''	Benito Juárez. D. F.
11	19°25'27''	99°05'05''	Venustiano Carranza, D. F.
12	19°25'43''	99°05'17''	Venustiano Carranza, D. F.
13	19°25'18''	99°06'28''	Venustiano Carranza, D. F.
14	19°34'25''	99°08'32''	Tultitlán, Edo. Méx.
15	19°33'53''	99°11'05''	Tlalnepantla, Edo. Méx.
16	19°33'20''	99°13'42''	Atizapán de Zaragoza, Edo. Mex.
17	19°32'46''	99°16'17''	Atizapán de Zaragoza, Edo. Mex.
Fuente: Elaboración propia.			

Estas coordenadas delimitan un polígono con un área de 53,492.22 hectáreas dentro de la cual se ubican, en su totalidad, las delegaciones Azcapotzalco, Cuauhtémoc y Miguel Hidalgo y también parte del territorio de otras nueve delegaciones del D. F. y de cuatro municipios del Estado de México.

El mapa de la figura 4.3 permite apreciar cuáles son las áreas de los municipios del Estado de México y de las delegaciones del D.F. que se encuentran incluidas dentro del polígono de riesgo. La delegación Benito Juárez se encuentra prácticamente en su totalidad dentro del polígono, a excepción de una pequeña área al este y al sureste. En la delegación Gustavo A. Madero la parte hacia el noroeste, oeste y suroeste se ubican dentro del área de riesgo; mientras que en la delegación Venustiano Carranza las áreas expuestas son el noroeste, el oeste, el suroeste y la parte central de la demarcación. Una pequeña porción al noroeste de la delegación Iztacalco también se localiza dentro del polígono, mientras que en el caso de la delegación Coyoacán la parte del centro hacia el oeste están incluidas dentro del área que pudiera verse afectada por un accidente aéreo.

Figura 4.3 Delegaciones y Municipios dentro del polígono de riesgo



Fuente: Elaboración propia con base en SENEAM, 2012a.

En el caso de Álvaro Obregón, a excepción de la porción suroeste, el resto de la delegación se encuentra ubicada dentro de la zona de riesgo. Mientras que porciones relativamente pequeñas de las delegaciones Tlalpan, Magdalena Contreras y Cuajimalpa también se encuentran localizadas dentro del polígono de riesgo. En el caso de la delegación Tlalpan sólo una pequeña porción de la zona norte, que colinda con Coyoacán y Álvaro Obregón, se encuentra expuesta. En Magdalena Contreras la parte hacia el noreste, que colinda con Álvaro Obregón y Tlalpan se encuentra dentro del polígono. Cuajimalpa es la última delegación del Distrito Federal que tiene parte de su territorio dentro del polígono de la aproximación de las aeronaves, siendo la zona hacia el noreste, que colinda con las delegaciones Miguel Hidalgo y Álvaro Obregón, la que está incluida dentro de lo que puede considerarse como área de riesgo.

En el caso del Estado de México, aún y cuando el punto 14 se ubica en el municipio de Tultitlán, éste se encuentra prácticamente en el vértice de los límites de Tlalnepantla, Tultitlán y la delegación Gustavo A. Madero, por lo que el territorio de Tultitlán que se ubica dentro del polígono de riesgo no es significativo pues es un espacio muy pequeño y despoblado de la Sierra de Guadalupe. Son los municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Atizapán y Tlalnepantla los que tienen una parte considerable de su territorio dentro del polígono sobrevolado por las aeronaves. Huixquilucan en la zona hacia el noreste limítrofe con las delegaciones Cuajimalpa y Miguel Hidalgo; Naucalpan del centro hacia el este de la demarcación; Atizapán en una pequeña porción al sur del municipio en los límites con Tlalnepantla y Naucalpan y; por último Tlalnepantla, que en el área hacia el oeste del D. F., a excepción de la parte al noroeste de su territorio que se encuentra fuera del polígono, el resto de la demarcación está incluida dentro del área de riesgo.

4.2 Evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica.

Una vez que se ha delimitado el espacio geográfico expuesto a un accidente de aviación se puede llevar a cabo un análisis que permita identificar el tipo de infraestructura, equipamiento y el número de habitantes asentados dentro de dicho espacio que pudieran verse expuestos, y por lo tanto vulnerables y afectados, por las consecuencias de un accidente aéreo.

Como se puede apreciar en el mapa de la figura 4.3 que delimita el área de riesgo, el área urbana se extiende prácticamente en toda la superficie del polígono. Son pocos los espacios en esta superficie que no presentan asentamientos humanos o señales de traza urbana.

Estos espacios se ubican principalmente al oeste de Atizapán, al noroeste de Naucalpan, al noroeste de Huixquilucan, al sur de Cuajimalpa, y al oeste de Álvaro Obregón. Estas áreas corresponden a elevaciones que forman parte de la Sierra de las Cruces en donde la mancha urbana no ha logrado extenderse. En la parte norte del polígono, el área hacia el noreste de Tlalnepantla así como una pequeña porción al norte y al este de la delegación Gustavo A. Madero, que corresponden a la Sierra de Guadalupe, se encuentran actualmente libres de asentamientos humanos y desarrollo urbano.

El resto del área está dominada por la mancha urbana donde predomina en gran medida la casa habitación, la presencia de población, la infraestructura y equipamiento destinados a proporcionar bienes y servicios, la red vial necesaria para la conectividad de la zona urbana y una amplia gama de actividades económicas y sociales. Todos estos elementos se encuentran expuestos al riesgo que representa un accidente aéreo.

Tomando en consideración que el área delimitada es muy extensa, que el punto exacto en el que se puede producir un accidente aéreo es muy difícil de precisar y la gran complejidad de elementos y actividades que forman parte del tejido urbano que caracteriza a la ZMVM, el análisis de vulnerabilidad espacial requiere el establecimiento de los criterios que se utilizarán como punto de partida para determinar las variables o indicadores que definirán los niveles de riesgo del área expuesta a un accidente aéreo. Las variables que se utilizan con mayor frecuencia para medir la vulnerabilidad en su dimensión espacial son variables sociodemográficas, económicas, culturales y territoriales que recogen aspectos de la población, su sistema socioeconómico e infraestructuras, principalmente. (Díaz, 2002).

En función de que el área de estudio que nos ocupa está ubicada dentro de la zona metropolitana más poblada del país y con el grado de urbanización más alto, las variables seleccionadas para este caso recogen aspectos enfocados principalmente en la población, infraestructura y equipamiento.

Debido a que la población se considera el principal perceptor y receptor de riesgos, el número de habitantes se utilizará como la principal variable para evaluar la vulnerabilidad en caso de un accidente aéreo.

En lo que respecta a la infraestructura y equipamiento, el área urbana del Distrito Federal y del Estado de México que se examina en este trabajo, presenta una gran diversidad de tipos y de usos, lo cual obedece a la múltiple gama de actividades (sociales, económicas, culturales y recreativas) que tienen lugar en la zona urbana. Esto lleva a la necesidad de definir, dentro de este rubro, cuáles serán las variables a tomar en cuenta para determinar la vulnerabilidad del área de estudio, tomando en consideración principalmente, de los múltiples tipos de instalaciones y equipamientos que existen en el área, los que se

consideren más vulnerables y estratégicos en virtud de las funciones y necesidades que cubren en la ZMVM.

De esta forma se seleccionaron cinco variables a partir de las cuales se definirán los niveles de riesgo ante la eventualidad de un accidente aéreo:

1. *El número de habitantes.* Utilizando información estadística demográfica se establecerá de forma cuantitativa el número de habitantes potencialmente expuestos dentro del polígono delimitado, partiendo del principio de que a mayor número de población mayor vulnerabilidad.
2. *La infraestructura hospitalaria.* Las clínicas, hospitales y centros de salud (tanto del sector público como del sector privado) son instalaciones cuyo valor estratégico y funcional es muy importante dentro del área urbana de la ZMVM. Las posibles consecuencias que acarrearía una catástrofe en la infraestructura de este tipo puede tener repercusiones inmediatas y de mediano y largo plazo. Inmediatamente después de un accidente, son instalaciones cuyo manejo puede ser muy difícil y complejo en virtud de que son utilizadas por sectores de la población cuyas condiciones de salud en ocasiones les impiden moverse por sus propios medios, lo que las convierte en instalaciones altamente vulnerables y muy difíciles de evacuar ante una situación de emergencia. En el mediano y largo plazo las consecuencias de una aeronave accidentada en alguna de estas instalaciones podría significar que se dejen de prestar los servicios de salud a la población de forma parcial o total, dependiendo de la magnitud de los daños en la infraestructura, por un tiempo considerable. Además, la infraestructura hospitalaria y los servicios médicos juegan un rol importante en el caso de un accidente aéreo, en virtud de que serían los encargados de recibir y atender a las posibles víctimas de una contingencia de esta naturaleza.
3. *La infraestructura escolar.* Al igual que la red hospitalaria, las escuelas (públicas y privadas) forman parte de la infraestructura básica que proporciona servicios esenciales a la población asentada dentro del área de estudio. En términos generales, estas instalaciones tienen la particularidad de que durante el tiempo en que se proporcionan los servicios educativos concentran un número importante de personas (de las cuales un alto porcentaje corresponde a población infantil) en un mismo espacio, lo que implica que ante la posibilidad de que una aeronave que se accidente pueda impactar en alguna de estas instalaciones, las repercusiones, en términos de la población directamente afectada al momento del evento podrían ser mayores. Por otra parte, en el mediano y largo plazo la prestación de los servicios educativos se podría ver afectada en función de los daños en la infraestructura.

4. *La longitud de la red vial.* Debido a la importancia y funcionalidad que tiene esta infraestructura para la conectividad y la organización social del área urbana se tomó la decisión de incluirla como un indicador de la vulnerabilidad, pues los daños en alguna parte de esta red podrían limitar o suspender la capacidad de transporte de personas y mercancías en la zona afectada.
5. *Las estaciones distribuidoras de gasolina y combustible.* Las estaciones distribuidoras de gasolina y combustibles son parte de los equipamientos ubicados dentro del área de estudio que, si bien proporcionan un servicio necesario para el funcionamiento cotidiano del área en cuestión, no hay que perder de vista que la naturaleza de su actividad es, en sí misma, peligrosa. Aunado a esto, si consideramos la posibilidad de que una aeronave pudiera accidentarse sobre alguno de estos establecimientos, el impacto y las afectaciones que este fenómeno pudiera traer consigo se podrían potenciar, sobre todo si tomamos en cuenta, por un lado, la naturaleza de las sustancias que se manejan en estos sitios y, por otro lado, que las estaciones distribuidoras de gasolina y combustible están generalmente ubicadas muy cerca de zonas habitadas.

La decisión de utilizar estas variables está basada, en primera instancia, en el grado de vulnerabilidad que presenta cada uno de estos elementos pero, además, para determinar el rango y la jerarquía de cada variable se tomaron en consideración dos aspectos muy importantes: la distribución espacial y la temporalidad.

La población (como primera variable) se encuentra distribuida prácticamente a lo largo y ancho del área de estudio, además, la presencia y las actividades llevadas a cabo por los habitantes que ocupan este espacio se pueden encontrar presentes en cualquier hora del día y durante cualquier época del año, por lo que las actividades cotidianas de la población coinciden en el tiempo y el espacio con la actividad aérea.

En el caso de la infraestructura hospitalaria existe un gran número de instalaciones destinadas a proporcionar servicios de salud, distribuidas en diversos puntos de toda el área de estudio, en función del gran número de habitantes que viven dentro de esta área y que requieren de este tipo de servicios. Si bien no todas las instalaciones de la red hospitalaria (como las clínicas y los centros de salud) brindan servicio las 24 horas del día, existen algunas otras (el caso de los hospitales, tanto públicos como privados) que proporcionan servicios de salud a la población de forma ininterrumpida durante todo el año.

Por su parte, los requerimientos de servicios educativos en todos los niveles, consecuencia de la demanda producida por la gran cantidad de población que se concentra en esta área y que solicita estos servicios, han derivado en el establecimiento de una gran cantidad de

planteles educativos (públicos y privados) distribuidos en toda el área que se está analizando. Estas instalaciones generalmente prestan servicio de lunes a viernes (aunque algunas instituciones educativas, principalmente de educación superior, prestan servicio incluso los sábados) durante la mañana, tarde y noche. La infraestructura escolar, a diferencia de la hospitalaria, no proporciona servicios las 24 horas del día y permanece cerrada durante los fines de semana y los periodos vacacionales.

Por otro lado, el área que se está estudiando cuenta con una amplia red vial que incluye carreteras, vialidades primarias y secundarias que permiten la conectividad de toda el área urbana. A lo largo de toda la red vial se presentan periodos durante el día en donde las vialidades se encuentran completamente saturadas, pero también existen lapsos en los que la utilización de la infraestructura vial disminuye de forma considerable.

Por último, debido a que la ZMVM concentra el mayor parque vehicular del país es necesario contar con una red de distribución de gasolina y combustibles para satisfacer la demanda derivada del gran número de automotores que circulan diariamente en esta zona. Si bien, a lo largo de toda el área de estudio se encuentran distribuidas este tipo de instalaciones, existen algunas zonas en donde la presencia de este tipo de servicio no existe o es muy escasa, razón por la cual se tomó la determinación de ubicar esta variable como el último indicador para llevar a cabo el análisis de riesgo en el área de estudio.

4.3 Determinación cuantitativa de los elementos expuestos en el polígono de riesgo.

Las condiciones de vulnerabilidad de la población ante un accidente, así como el valor estratégico y funcional de la infraestructura y equipamiento, fueron las características principales que se consideraron para definir las variables que se utilizarán en este trabajo para evaluar el nivel de riesgo en el área de estudio.

Toda vez que se han identificado estas variables, el objetivo se centra en determinar de forma cuantitativa la presencia de cada uno de estos elementos dentro del área de estudio y que, por lo tanto, pudieran verse afectados ante la posibilidad de que una aeronave se accidentara.

Conocer el número de habitantes, hospitales, escuelas, la longitud de la red vial, así como el número de estaciones distribuidoras de gasolina y combustible que se ubican dentro del polígono de riesgo permitirá tener un panorama general de cuál sería la magnitud de las afectaciones en cada uno de estos rubros.

Para cumplir con este objetivo se recurrió al análisis de diversas fuentes estadísticas para obtener los datos concernientes a la población y la infraestructura ubicadas dentro del área de estudio. En el caso de la población fue necesario recabar información estadística de tipo demográfico, siendo el Censo de Población y Vivienda 2010 la fuente principal para obtener el dato del número de habitantes que se asientan dentro del polígono de riesgo. El Censo de Población y Vivienda proporciona información a nivel nacional, estatal, municipal, de área geostatística básica (AGEB) rural y urbana, y manzana urbana. Debido a que el área de estudio que se está analizando en este trabajo corresponde en su totalidad a área urbana se decidió utilizar los datos de las manzanas urbanas para obtener los datos de población, además de que la información contenida permite realizar un análisis más detallado.

En cuanto al rubro de infraestructura fue necesario remitirse a la información estadística sobre actividades económicas que tienen lugar en el territorio nacional para obtener los datos referentes a la ubicación y el número de cada una de las infraestructuras que fueron seleccionadas como indicadores para evaluar el nivel de riesgo.

En este caso, la fuente principal para obtener estos datos fue el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) elaborado por el INEGI en el año 2011. El DENUE proporciona información actualizada sobre las actividades económicas (industria, comercio y servicios) tanto del sector público como del sector privado, presentándolas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su análisis.

Los datos que proporciona el DENUE permiten identificar las unidades económicas por la actividad económica y el tamaño según el estrato de personal ocupado así como ubicarlas en el territorio nacional por región, localidad, manzana y frente de calle (INEGI, 2011).

Por último, los datos referentes a la red vial fueron obtenidos del INEGI a través del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) 2010. A partir de la información obtenida del SCINCE se pudo determinar la longitud de la red vial, así como el tipo de vialidades ubicadas dentro del área de estudio.

4.4 Resultados del análisis de vulnerabilidad.

A partir del análisis de los datos contenidos en el Censo de Población y Vivienda 2010, el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 2011 y el Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) 2010, se pudo determinar de forma cuantitativa la presencia de cada una de las variables seleccionadas dentro del área de estudio.

Adicionalmente estas bases de datos tienen la ventaja de que permiten, a través del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ubicar la distribución espacial de cada una de las variables seleccionadas a lo largo del área de estudio con el objetivo de establecer, posteriormente, los posibles niveles de riesgo ante la posibilidad de un accidente aéreo en dicha área.

El análisis de la información para cada una de las variables arrojó como resultados los siguientes datos:

1. El número de habitantes:

De acuerdo con el INEGI los resultados por manzana urbana presentan la información sobre la población y las viviendas a través de 184 indicadores, siendo el dato correspondiente a la población total uno de estos indicadores, el cual fue utilizado para determinar cuántos habitantes se ubican dentro del área de estudio. El hecho de que esta información censal pudiera ser georreferenciada con el uso Sistemas de Información Geográfica (SIG), en este caso ArcGis versión 10.1, permitió establecer el número de manzanas incluidas dentro del polígono de riesgo y a partir de ese dato determinar el número de habitantes expuestos dentro de dicho polígono delimitado previamente.

El resultado de este proceso arrojó que en las 53,492.22 hectáreas que conforman el polígono de riesgo existen 35, 403 manzanas urbanas correspondientes a 12 delegaciones del Distrito Federal y 4 municipios del Estado de México. En lo que respecta al número de habitantes que tienen su residencia dentro del polígono de riesgo el resultado es de 4, 845, 552, distribuidos en manzanas que pueden tener desde 0 hasta 2, 904 habitantes. (Figura 4.4).

2. La infraestructura hospitalaria:

En el caso de la infraestructura hospitalaria la información que proporciona el DENUÉ dentro de este rubro está codificada como “Servicios de salud y asistencia social” que se encuentran divididos en cuatro grupos:

Cuadro 4.2 Infraestructura hospitalaria dentro del polígono de riesgo.	Unidades en el área de riesgo.
Hospitales Generales del sector privado	125
Hospitales Generales del sector público	125
Hospitales del sector privado de otras especialidades médicas	198
Hospitales del sector público de otras especialidades médicas	15
Total	463
Fuente: DENUÉ. INEGI, 2011.	

En total son 463 instalaciones encargadas de brindar servicios de salud y asistencia social distribuidos dentro del área de estudio. (Figura 4.5). Dentro del grupo de los hospitales generales del sector privado se ubican las instalaciones de la Cruz Roja Mexicana, los hospitales, clínicas y sanatorios del sector privado que brindan servicios de salud a la población en general. En lo que respecta a los hospitales generales del sector público en este grupo se incluye al Centro Médico, los Hospitales Regionales y las Unidades de Medicina Familiar del IMSS; los Hospitales Generales y las Clínicas de Medicina Familiar del ISSSTE así como los Centros de Salud y Hospitales del GDF.

Por su parte, los hospitales del sector privado de otras especialidades médicas así como los del sector público engloban las instalaciones cuyos servicios y atención se enfocan a una especialidad médica en particular, como los hospitales pediátricos, institutos de cancerología, clínicas de medicina física y rehabilitación, laboratorios de diagnóstico, entre otros.

Dada la gran concentración de población que se ubica dentro del área de estudio la oferta de servicios de salud y asistencia social es muy amplia y abarca una extensa gama de unidades médicas de distintos niveles que brindan atención a usuarios con características y necesidades muy diversas. Sin embargo, como se puede apreciar en la figura 4.5, la mayor concentración de la infraestructura hospitalaria dentro del área de riesgo se ubica hacia el este de la derrota nominal de vuelo, siendo el área limítrofe entre las delegaciones Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Benito Juárez un área de alta concentración de unidades de servicios médicos que se ubican a ambos lados de la derrota nominal de vuelo.

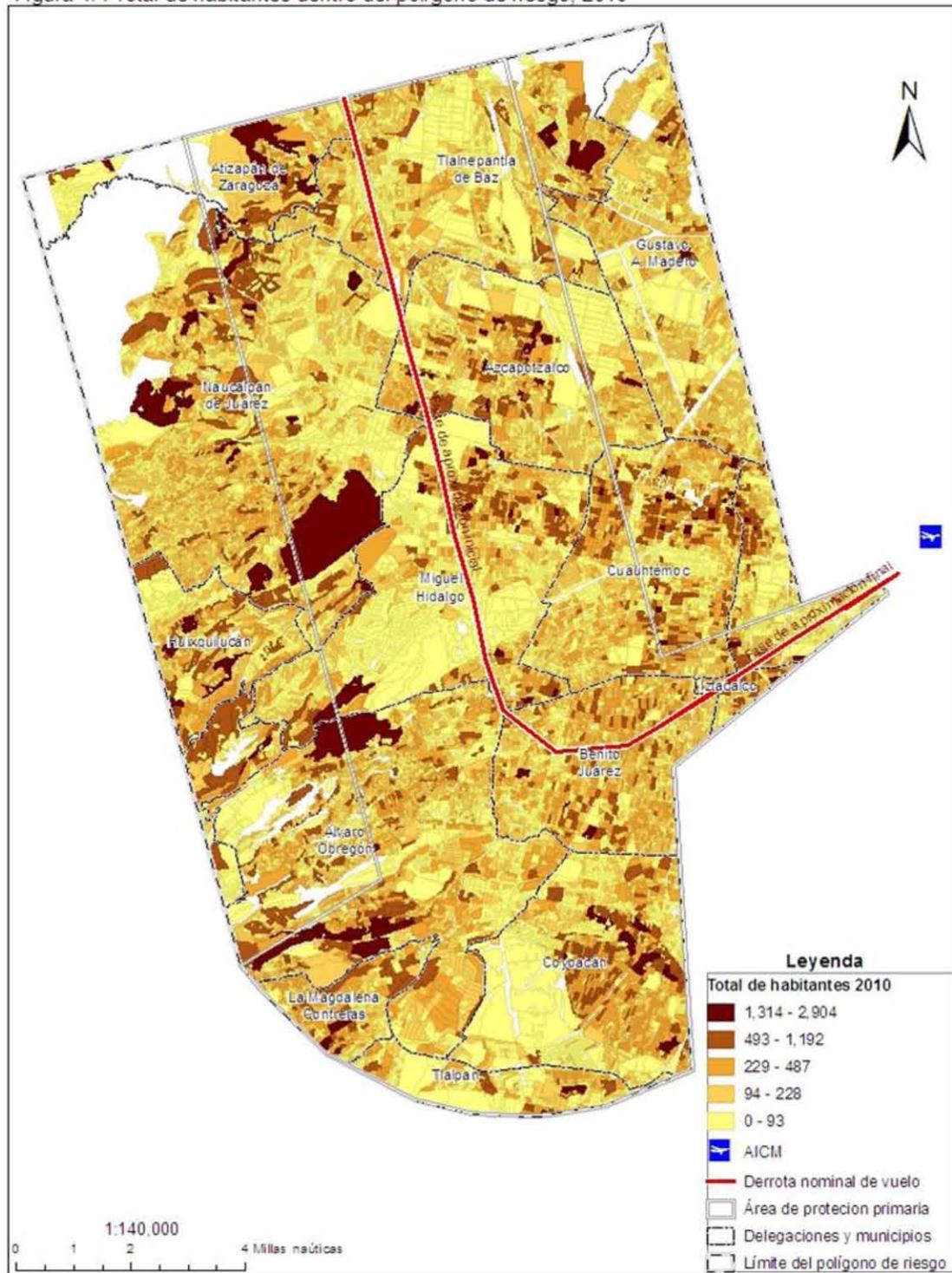
3. La infraestructura escolar:

En lo concerniente a la infraestructura escolar existe una gran cantidad de instalaciones destinadas a satisfacer los requerimientos de servicios educativos que prestan servicio a los distintos sectores de la población que se ubica dentro del polígono de riesgo.

De acuerdo con los datos recabados del DENU, que incluye planteles educativos del sector privado y del sector público, la oferta de servicios educativos está clasificada en 37 grupos. Esta clasificación identifica las escuelas de acuerdo con el nivel o las características de la enseñanza que imparten, por lo que se pueden encontrar desde los planteles comúnmente utilizados por la población, que imparten enseñanza a nivel básico (preescolar, primaria y secundaria) y educación a nivel medio superior y superior; pero también incluye datos sobre la infraestructura escolar que proporciona servicios educativos específicos encaminados a satisfacer requerimientos concretos de ciertos sectores de la población, como la enseñanza de idiomas, deportes u oficios. (Cuadro 4.3).

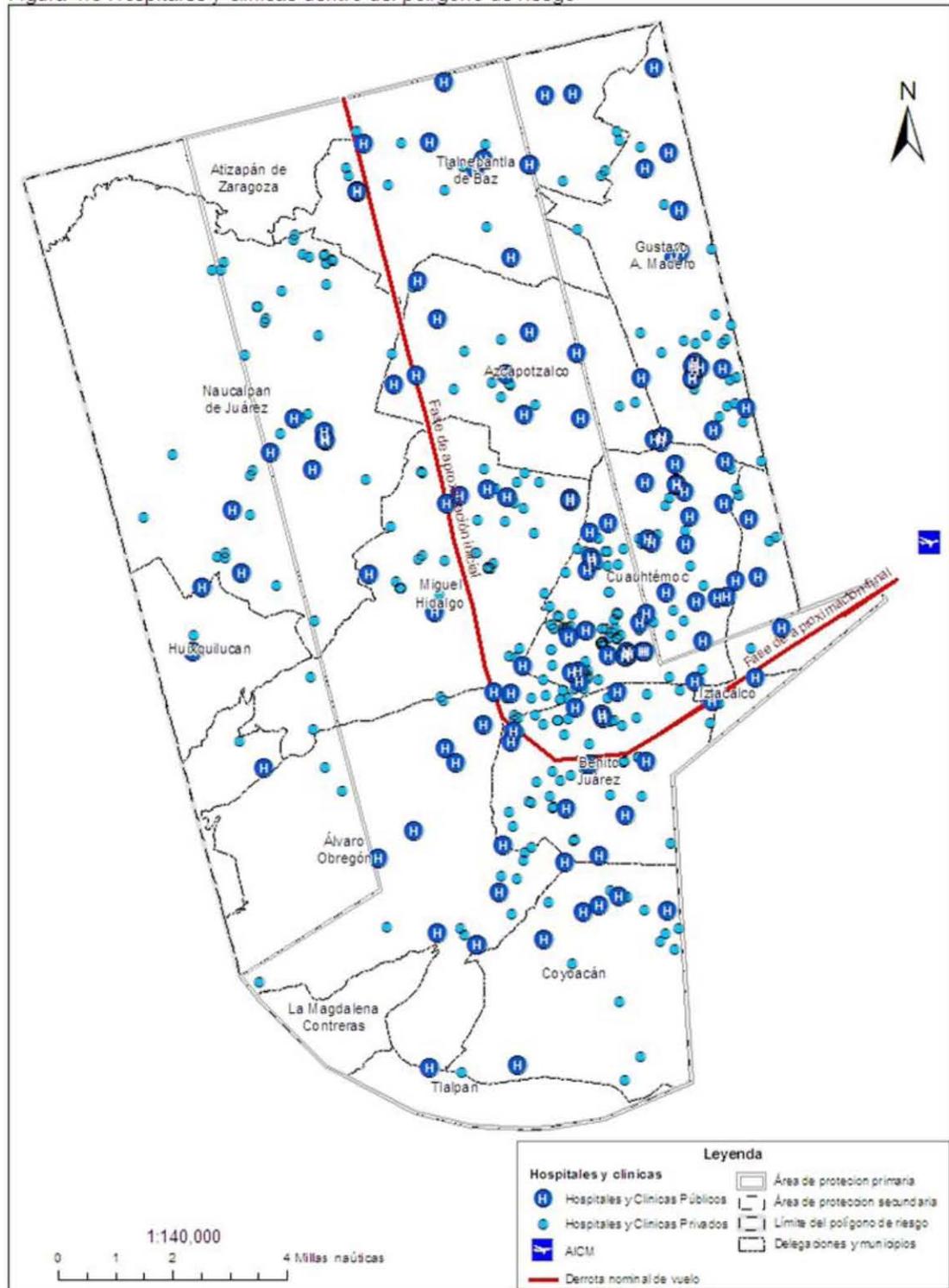
Cuadro 4.3 Infraestructura escolar dentro del polígono de riesgo.	Unidades
Escuelas comerciales y secretariales del sector privado	174
Escuelas comerciales y secretariales del sector público	1
Escuelas de arte del sector privado	375
Escuelas de arte del sector público	60
Escuelas de computación del sector privado	98
Escuelas de deporte del sector privado	344
Escuelas de deporte del sector público	8
Escuelas de educación media superior del sector privado	138
Escuelas de educación media superior del sector público	39
Escuelas de educación media técnica terminal del sector privado	22
Escuelas de educación media técnica terminal del sector público	40
Escuelas de educación postbachillerato del sector privado	34
Escuelas de educación postbachillerato del sector público	1
Escuelas de educación preescolar del sector privado	929
Escuelas de educación preescolar del sector público	545
Escuelas de educación primaria del sector privado	332
Escuelas de educación primaria del sector público	974
Escuelas de educación secundaria general del sector privado	67
Escuelas de educación secundaria general del sector público	323
Escuelas de educación secundaria técnica del sector privado	11
Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	73
Escuelas de educación superior del sector privado	206
Escuelas de educación superior del sector público	32
Escuelas de idiomas del sector privado	206
Escuelas de idiomas del sector público	3
Escuelas del sector privado de educación para necesidades especiales	39
Escuelas del sector privado dedicadas a la enseñanza de oficios	121
Escuelas del sector privado que combinan diversos niveles de educación	265
Escuelas del sector público de educación para necesidades especiales	56
Escuelas del sector público dedicadas a la enseñanza de oficios	24
Escuelas del sector privado que combinan diversos niveles de educación	8
Escuelas para la capacitación de ejecutivos del sector privado	141
Escuelas para la capacitación de ejecutivos del sector público	1
Otros servicios educativos proporcionados por el sector privado	135
Otros servicios educativos proporcionados por el sector público	36
Servicios de apoyo a la educación	46
Servicios de profesores particulares	102
Total	6009
Fuente: DENU. INEGI, 2011.	

Figura 4.4 Total de habitantes dentro del polígono de riesgo, 2010



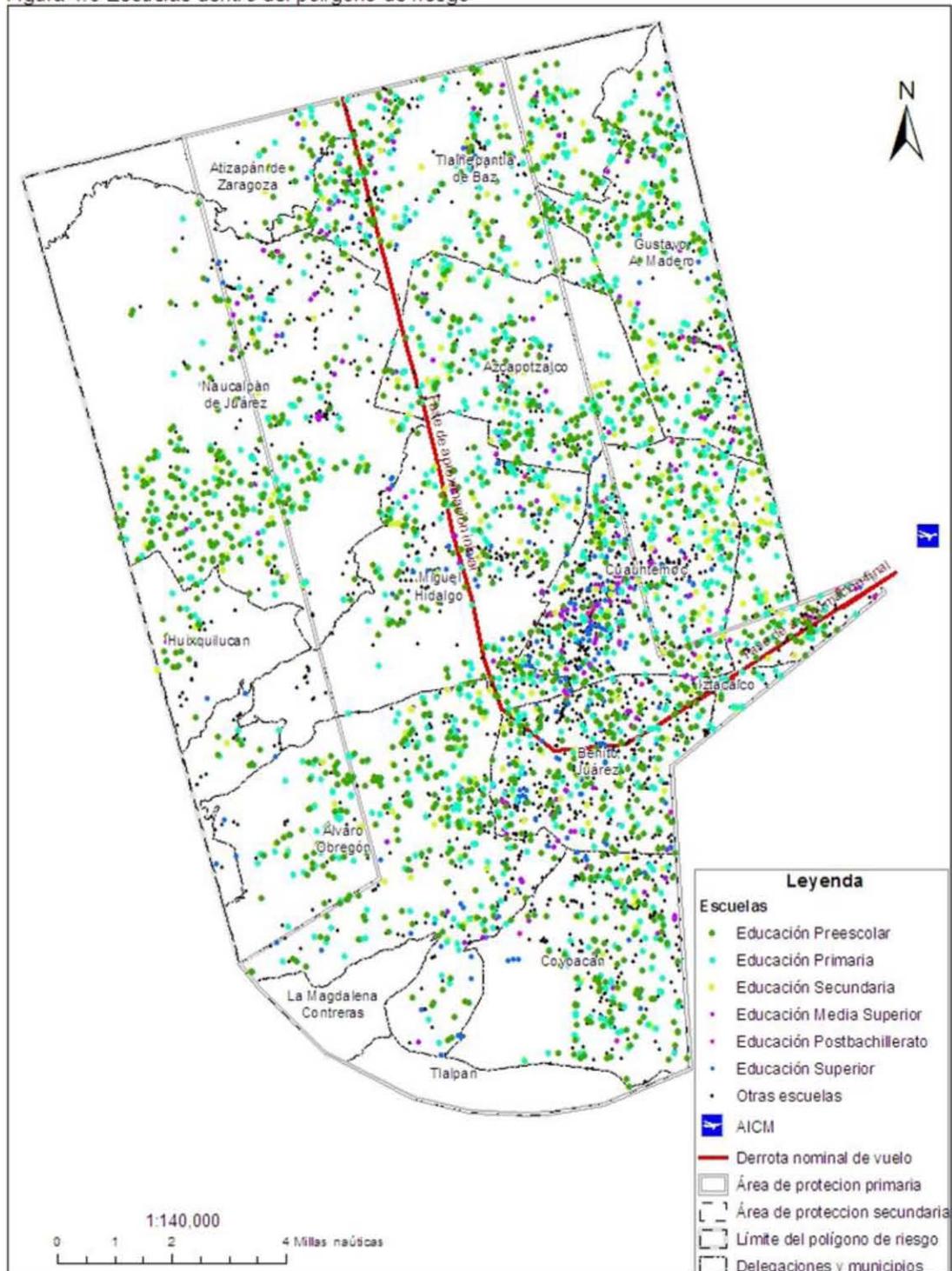
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011a.

Figura 4.5 Hospitales y clínicas dentro del polígono de riesgo



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011b.

Figura 4.6 Escuelas dentro del polígono de riesgo



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011b.

En total se contabilizaron 6,009 instalaciones que, distribuidas en todo el polígono, proporcionan servicios educativos a distintos niveles y que cubren una amplia gama de necesidades educativas con lo que satisfacen los requerimientos de la población cubriendo todos los rangos posibles de edades; esto significa que en un determinado momento cada una de estas instalaciones puede concentrar un gran número de niños, jóvenes y adultos dependiendo del tipo de enseñanza que proporcionan.

En la figura 4.6 se muestra la distribución de la infraestructura escolar dentro del polígono de riesgo. En dicha figura se muestran las ubicaciones de las escuelas de educación preescolar, primaria, secundaria, media superior, postbachillerato y superior de forma individual; mientras que el resto de las escuelas que prestan servicios diversos fueron englobadas dentro de la categoría de “otras escuelas”.

Como se puede apreciar, la distribución de la infraestructura escolar se extiende prácticamente a lo largo y ancho del polígono de riesgo, pero es muy notoria la gran concentración de este tipo de infraestructura debajo y a ambos lados y de la derrota nominal de vuelo en el área que corresponde a la fase de aproximación final.

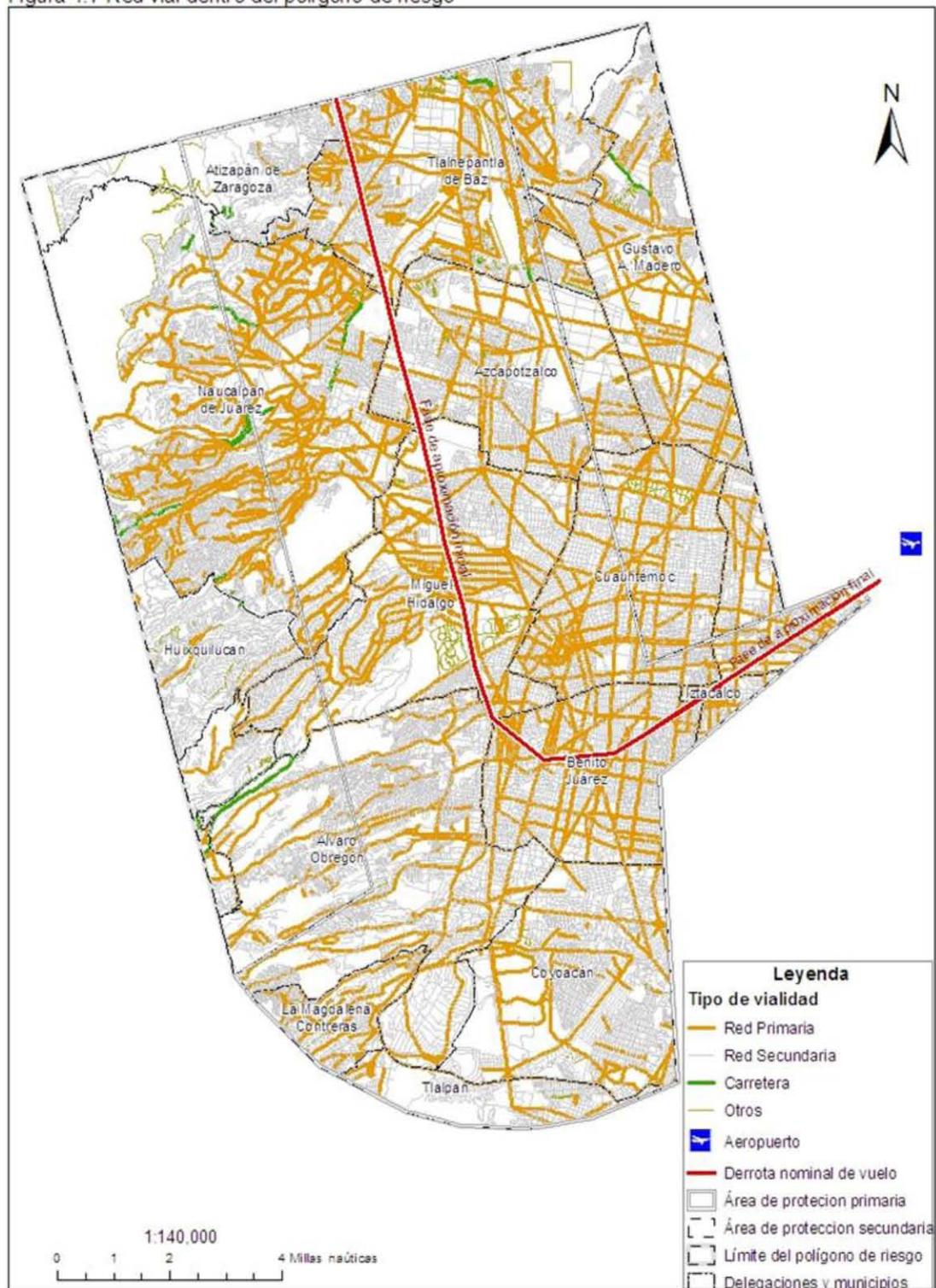
4. La red vial:

Los datos referentes a la red vial fueron obtenidos del INEGI a través del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) 2010. El SCINCE identifica 16 tipos de vialidades ubicadas dentro del área de estudio así como el número de unidades de cada uno de éstos y presenta un total de 16 tipos distintos de vialidades. (Cuadro 4.4).

Con la intención de clasificar los 16 tipos de vialidades que presenta el SCINCE dentro de un marco más general con el objetivo de cartografiarlos se recurrió a la clasificación de vialidades publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de febrero de 2011, que considera avenida, boulevard, calzada, circuito, eje vial, prolongación y viaducto como red vial primaria. Mientras que la red vial secundaria está conformada por calles, callejones, cerradas, privadas y retornos. En el rubro de otras vialidades se incluyen andadores y calles peatonales.

Con la ayuda del SIG se pudo determinar la longitud de la red vial que se encuentra dentro del polígono de riesgo, la cual corresponde a 7,739 km de vialidades y que se puede apreciar en la figura 4.7.

Figura 4.7 Red vial dentro del polígono de riesgo



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011d.

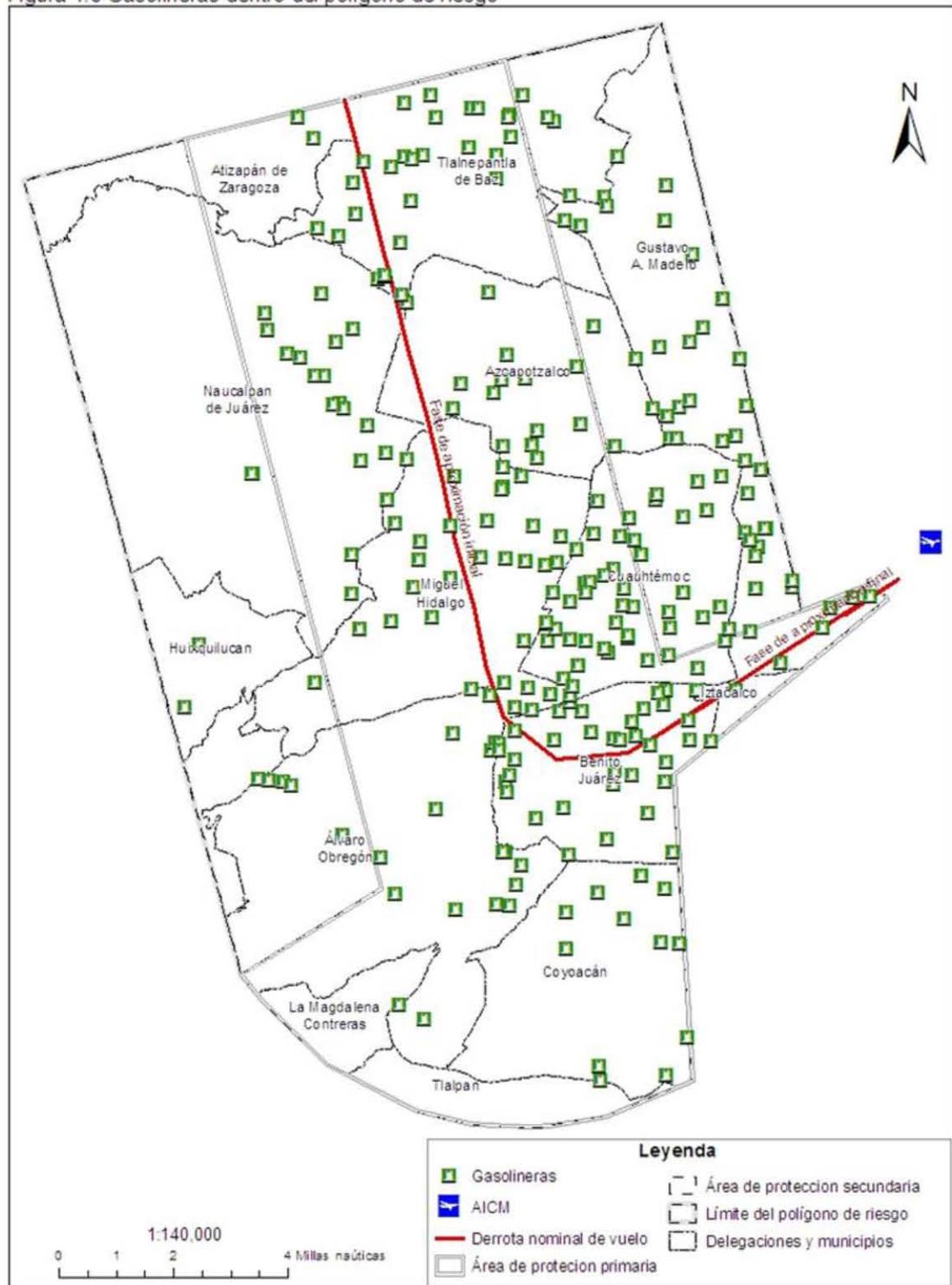
Cuadro 4.4 Infraestructura vial dentro del polígono de riesgo	
Tipo de vialidad	Unidades
Andador	68
Avenida	992
Boulevard	183
Calle	5270
Callejón	36
Calzada	84
Carretera	13
Cerrada	278
Circuito	92
Eje Vial	174
Otro	21
Peatonal	27
Privada	308
Prolongación	37
Retorno	15
Viaducto	26
Fuente: SCINCE. INEGI, 2010.	

5. Las estaciones distribuidoras de gasolina y combustible:

Por último, en lo que respecta a la información sobre las estaciones distribuidoras de gasolina y combustible, el DENUÉ tipifica esta actividad económica dentro del rubro de “Comercio al por menor de gasolina y diésel”. De esta información se obtuvo la ubicación y el número de establecimientos que se dedican a esta actividad dentro del área de estudio, resultando un total de 284.

Con la ayuda de SIG se pudo cartografiar la ubicación de las estaciones distribuidoras de combustible y observar cómo se encuentran distribuidas dentro del área de estudio. En la figura 4.8 se pueden observar los resultados obtenidos de este proceso y es muy notorio que la mayoría de las gasolineras se ubican hacia el este de la derrota nominal de vuelo y, que al igual que en el caso de las escuelas y hospitales, el vértice que conforman los límites entre las delegaciones Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Benito Juárez presentan una alta concentración de gasolineras. También se observan varios de estos establecimientos debajo y hacia ambos lados de la derrota nominal de vuelo en el área que corresponde a la fase de aproximación final.

Figura 4.8 Gasolineras dentro del polígono de riesgo



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2011b.

4.5 Elaboración cartográfica del mapa de riesgo en caso de un accidente aéreo en la aproximación a las pistas 05 en el AICM.

Si bien el conocer cuántos habitantes e infraestructura existen, así como la forma en que se distribuyen espacialmente dentro del área de estudio, permite tener una idea general sobre el número y los tipos de elementos expuestos ante la posibilidad de que ocurra un accidente aéreo en esta área; lo cierto es, que esta determinación cuantitativa no permite definir de forma concreta el nivel de riesgo dentro del polígono que se está analizando.

Es necesario tener en consideración que las variables que se utilizan en este trabajo fueron seleccionadas a partir de la importancia estratégica que tienen dentro del funcionamiento del área urbana y del grado de vulnerabilidad que pueden presentar ante una catástrofe. Pero, si en lo particular cada uno de estos indicadores tiene una importancia fundamental dentro del área de estudio, en conjunto su trascendencia es aún más notoria pues forman parte de un complejo entramado de actividades económicas y sociales que se llevan a cabo de forma cotidiana y que caracterizan a la zona urbana que se extiende en toda el área de estudio.

En este espacio donde la población y la infraestructura se distribuyen de forma aleatoria se mantiene una interacción muy estrecha entre todos y cada uno de las distintas variables seleccionadas. Existen amplios sectores de la población cuya actividad diaria transcurre dentro de los planteles educativos; por su parte, las instalaciones hospitalarias reciben a miles de ciudadanos todos los días que buscan satisfacer sus requerimientos de servicios de salud. Las vialidades, distribuidas por toda el área de estudio, son transitadas diariamente por una gran cantidad de vehículos públicos y privados que transportan gente que requiere trasladarse de un lado a otro de la zona urbana para cumplir con sus actividades; mientras que las gasolineras, ubicadas entre las zonas habitacionales, atienden a miles de vehículos todos los días.

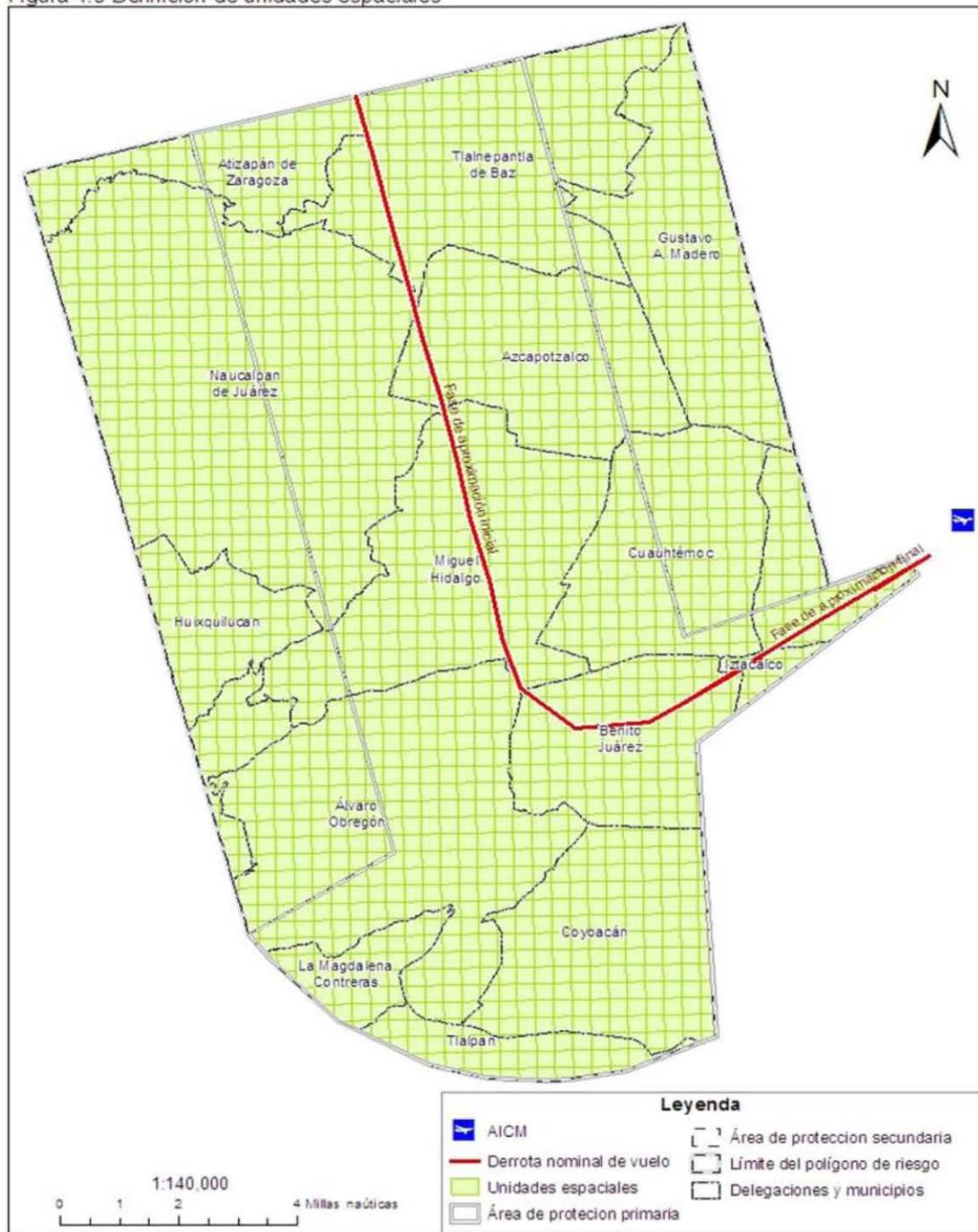
Es precisamente ésta dinámica entre la población y sus actividades lo que hace necesario considerar a las cinco variables en conjunto para definir los niveles de riesgo dentro del área de estudio, ya que dichas variables reflejan características y condiciones particulares del acontecer social y económico que hacen único el espacio objeto de este análisis.

4.5.1 Definición de la unidad espacial.

Debido a que la superficie que se está estudiando abarca una extensa área tanto del Distrito Federal como del Estado de México es necesario dividir dicho espacio y establecer una unidad espacial más pequeña que permita llevar a cabo un análisis más específico y

concreto de los indicadores y del territorio, facilitando así el establecer una diferenciación cualitativa que lleve a definir los niveles de riesgo en cada una de estas unidades espaciales.

Figura 4.9 Definición de unidades espaciales



Fuente: Elaboración propia con base en SENEAM, 2012a.

Por esta razón, y con la ayuda del SIG ArcGis versión 10.1, se tomó la determinación de elaborar una malla (Figura 4.9) para dividir el polígono de estudio en unidades más pequeñas y de un tamaño homogéneo que faciliten el análisis del territorio y sus elementos sociales y económicos representados por las variables seleccionadas.

De esta forma se generó una malla que contiene una cuadrícula de 500 m por cada lado, es decir 0.25 km^2 , teniendo en mente que al utilizar una unidad espacial más pequeña se podría dar mayor precisión al análisis. El resultado de este proceso arrojó que dentro de la superficie del polígono se ubicaron 2,000 cuadrados de 500 m por cada lado.

Con la intención de hacer más preciso y detallado el análisis, las cuadrículas que no quedaban completamente dentro del polígono fueron recortadas de tal forma que sólo se incluyó de éstas la superficie que se encuentra dentro del área de estudio. Así, se obtuvieron un total de 1,778 cuadrículas con una superficie de 0.25 km^2 , mientras que las 222 cuadrículas restantes, que son las que coinciden con el perímetro del polígono, tienen una superficie inferior a los 0.25 km^2 . Teniendo definida esta cuadrícula como unidad espacial básica de referencia para llevar a cabo el análisis, es posible establecer una diferenciación cualitativa a partir de las cinco variables seleccionadas.

4.5.2 Determinación cualitativa de las variables en las unidades espaciales.

Para poder definir desde el punto de vista cualitativo la importancia de cada uno de las cinco variables analizadas en este trabajo, es necesario utilizar una metodología que permita otorgar a cada una de dichas variables un valor específico dentro de cada unidad espacial con el objetivo de, que al analizarse en conjunto, permitan definir y cartografiar el nivel de riesgo dentro de ese espacio.

Con este fin se recurrió al método de tipificación probabilística. Este método, que ha sido utilizado en geografía económica principalmente en trabajos sobre asimilación económica de los territorios, tiene la particularidad de que parte de cinco indicadores cada uno de los cuales representa contenidos espaciales básicos del acontecer social y económico del territorio. Éstos se utilizan como elementos de valorización independiente que se integran a una interpretación global por medio de una clave numérica que expresa la forma en que aparecen combinados los valores de estos indicadores en cada territorio. (Propín y Sánchez, 1996).

Esta metodología se puede utilizar para hacer una evaluación que permita, a partir de las cinco variables y la forma en cómo éstas se combinan en cada unidad espacial, formar un criterio para definir los niveles de riesgo. En este caso, al contar ya con las cinco variables seleccionadas se establecen los datos que se tomará en cuenta para llevar a cabo el análisis en cada una de las unidades espaciales, los cuales son:

1. El número de habitantes.
2. El número de instalaciones hospitalarias.
3. El número de escuelas.
4. La longitud de la red vial.
5. El número de gasolineras.

Partiendo de estos datos se evalúa el número de elementos de cada variable presentes en las unidades espaciales. La finalidad de este proceso se centra en generar una matriz en donde se incluyan las 2,000 cuadrículas que forman parte del polígono y los datos totales de cada variable en cada una de esas cuadrículas. De esta forma cada cuadrícula del polígono de estudio presentará cinco datos correspondientes a cada una de las variables.

Este primer análisis arroja como resultado una matriz con cinco datos en cada cuadrícula. El primer valor corresponde al número de habitantes; el segundo valor proporciona el número de instalaciones hospitalarias; el tercer dato establece el número de planteles educativos; mientras que el cuarto valor determina la longitud en metros de la red vial contenida en cada cuadrícula y; por último, el quinto valor proporciona información sobre el número de gasolineras en cada unidad espacial.

Debido a que la matriz generada es muy extensa, ya que contiene 2,000 filas con cinco datos cada una, en el cuadro 4.5 sólo se presentan los máximos y mínimos de cada variable que se obtuvieron al evaluar los datos en cada una de las 2,000 unidades espaciales.

Cuadro 4.5 Presencia de las variables por unidad espacial.		
Indicador	Valor mínimo	Valor máximo
Número de habitantes	0	11,417
Número de instalaciones hospitalarias	0	22
Número de escuelas	0	27
Longitud de la red vial (km)	0	12.66
Número de gasolineras	0	4
Fuente: Elaboración propia.		

A partir de estos datos el siguiente paso fue definir una serie de rangos que permitieran establecer un parámetro que nos llevara a determinar de forma cualitativa el comportamiento de cada uno de las cinco variables en las 2,000 cuadrículas geográficas.

Auxiliados por el método de Jenks, que se caracteriza porque agrupa mejor los valores similares y maximiza las diferencias entre los datos obtenidos, permitiendo generar intervalos (rangos) dentro de series numéricas y que se puede generar automáticamente en el SIG, se establecieron cinco rangos para cada variable que se pueden observar en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6 Rangos de las variables.					
Variable Rango	Población	Hospitales	Escuelas	Red vial (longitud en km)	Estaciones de gasolina y diésel.
1. Muy Bajo	0–1,059	0	0 – 1	0 – 1.95	0
2. Bajo	1,060–2,698	1 – 2	2 – 5	1.95 – 4.24	1
3. Medio	2,699–4,593	3 – 6	6 – 10	4.24 – 6.04	2
4. Alto	4,594–7,012	7 – 11	11 – 17	6.04 – 7.89	3
5. Muy Alto	7,013–11,417	12 - 22	18 – 27	7.89 – 12.66	4
Fuente: Elaboración propia.					

A cada uno de estos rangos se le asignó un número y una calificación que refleja la importancia y la presencia de cada variable en cada unidad espacial. De tal manera que los cinco rangos quedaron definidos de la siguiente forma:

1. Muy Bajo: expresa valores nulos o relativamente bajos de la variable en cada unidad espacial.
2. Bajo: muestra una presencia poco significativa de la variable en la unidad espacial.
3. Medio: expresa valores que pueden ser considerados el punto de transición entre lo bajo y lo alto.
4. Alto: representa una concentración mayor de cada uno de las variables en las unidades espaciales.
5. Muy Alto: hace referencia a los valores superiores que indican la mayor presencia de cada variable en cada unidad espacial.

Una vez delineados estos rangos es necesario estructurar una matriz en la que los cinco valores de las variables son sustituidos por el rango que le corresponde de acuerdo con la tabla anterior. De esta forma, los totales de cada variable en cada unidad espacial que se

habían obtenido en la primera matriz que se elaboró son sustituidos por valores del 1 al 5 según corresponda.

Este proceso permitió definir para cada una de las 2,000 unidades espaciales un código conformado por cinco valores que refleja, por un lado, la trascendencia de cada variable en el espacio de análisis y, por otro lado, permite determinar qué tan vulnerable es cada unidad espacial en función de la presencia de las variables cuando estas se combinan. El resultado es una nueva matriz con un código específico para cada una de las cuadrículas que conforman el área de estudio, es decir 2,000 códigos.

El análisis de estos 2,000 códigos arroja que varias combinaciones se repiten, de tal forma que se analizó la frecuencia con la que se repetía cada código y este proceso permitió reducir de los 2,000 códigos originales a 268. Una vez determinados, los códigos fueron ordenados jerárquicamente de menor a mayor, siendo el código 11111, que indica una muy baja presencia de las cinco variables en la unidad espacial, el más bajo obtenido y el que con mayor frecuencia se repite en toda el área (216 veces). Por otro lado, el código con los valores más altos, en cuanto a la presencia de variables, fue 52351 que se repitió en 5 de las unidades espaciales dentro del polígono; de este código se desprende que los datos correspondientes al número de habitantes y de la red vial tienen una presencia muy alta (5), que el número de hospitales muestra una presencia baja (2), mientras que el indicador del número de escuelas muestra una presencia media (3) y, por último, el número de gasolineras se ubica en el rango de muy bajo (1).

Con este mismo procedimiento fueron analizadas todas y cada una de las unidades espaciales ubicadas dentro del polígono de estudio con el objetivo de establecer, en base al rango que presentan las variables, qué tan expuestas y vulnerables son cada una de estas unidades espaciales y cuál es el nivel de riesgo de cada una de ellas. El cuadro 4.7 muestra, en las columnas con el encabezado CD, cada uno de los 268 códigos que se obtuvieron mientras que las columnas FRC, muestran la frecuencia con que presentaron cada uno de estos códigos en el área de estudio.

A partir de estos códigos es posible llevar a cabo un análisis rápido y sintético de cada una de las unidades espaciales ya que los valores contenidos en cada código representan de forma cualitativa la presencia de cada variable en el territorio. Considerando que el valor 1 indica una nula o muy escasa presencia de cada variable y que el valor 5 define la mayor concentración de cada una de éstas en la unidad espacial, al llevar a cabo el análisis de cada código la presencia de valores cercanos a 1 indican que son pocos los elementos expuestos al riesgo que representa un accidente aéreo, mientras que si en el código aparecen valores más cercanos a 5 significa que existe una mayor cantidad de elementos vulnerables por lo que el riesgo en estas unidades espaciales es mayor.

Cuadro 4.7 Códigos y frecuencias de las unidades espaciales.

CD	FRC												
11111	216	21231	50	11153	1	21333	1	22342	2	31343	2	32352	1
11112	2	21321	4	11342	1	21342	4	22351	2	31352	4	32433	1
11121	145	22131	3	11351	1	21351	4	22441	3	31442	4	32442	2
11211	8	22221	1	11432	1	21432	1	22531	2	31451	3	32451	1
21111	11	31131	28	12251	1	21441	2	23332	1	31541	1	32541	1
11122	5	31221	9	13232	1	21531	2	31243	1	32243	1	33432	1
11131	91	32121	1	13241	2	22242	1	31252	7	32252	1	33441	1
11212	1	41121	3	21134	1	22251	1	31342	11	32342	4	41352	1
11221	19	11224	1	21152	2	22332	1	31351	9	32351	4	41451	1
12121	3	11233	2	21233	1	22341	6	31441	5	32432	1	42342	2
21121	42	11242	4	21242	4	22431	3	32143	1	32441	4	42351	5
31111	1	11251	4	21251	27	23331	1	32242	5	32531	1	42432	1
11132	5	11341	2	21332	2	31152	1	32251	4	33332	1	42441	3
11141	51	11431	1	21341	20	31233	1	32323	1	41234	1	42531	1
11222	4	12142	1	21431	1	31242	6	32332	4	41243	1	43341	1
11231	32	12151	1	22151	3	31251	24	32341	14	41252	2	43431	1
11321	1	12232	1	22232	1	31332	2	33232	1	41342	1	51351	6
12131	3	12241	3	22241	9	31341	31	33241	2	41351	16	51441	1
12221	1	12331	2	22322	1	31431	3	41152	1	41432	3	52251	2
21122	3	21133	1	22331	9	32142	1	41242	1	41441	1	52341	2
21131	75	21142	2	22421	1	32151	1	41251	50	42251	2	24442	1
21221	29	21151	24	23231	1	32232	4	41332	2	42332	3	32452	1
22121	1	21232	7	31142	1	32241	16	41341	23	42341	6	33541	1
31121	7	21241	46	31151	10	32322	1	42151	2	42431	2	34441	1
11133	2	21331	16	31232	1	32331	4	42232	2	43331	2	51343	1
11142	3	22132	1	31241	54	33141	3	42241	4	51143	1	51451	2
11151	38	22222	1	31331	21	41151	16	42331	2	51242	1	52351	5
11223	1	22231	12	32132	1	41232	2	51151	6	51251	13	32453	1
11232	3	31132	2	32231	8	41241	34	51241	5	51341	3	33434	1
11241	7	31141	33	41141	17	41331	9	51331	2	51422	1	42353	1
11331	4	31222	1	41231	17	41421	1	52141	1	52241	1	43244	1
11421	1	31231	42	51131	2	42141	3	52231	2	52331	1	24543	1
12141	1	31321	4	51221	1	42231	8	21344	1	21345	1	33444	1
12231	7	32131	2	11442	1	51141	2	21542	2	21444	1	35443	1
12321	1	32221	4	12333	1	51231	5	22352	1	22443	1		
13221	1	41122	2	12351	1	12352	1	22433	1	24441	1		
21132	4	41131	8	21234	1	21253	2	22442	1	31452	2		
21141	51	41221	2	21243	1	21343	1	22541	2	31542	1		
21222	2	42121	1	21252	1	21352	3	31244	1	32343	4		

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Elaboración cartográfica del mapa de riesgo.

Una vez que se ha definido un código para cada una de las unidades espaciales y que se ha establecido la relevancia de cada valor, es posible considerar que aquellos códigos en donde aparecen combinaciones con valores entre 3 y 5 corresponden a las unidades espaciales que presentan la concentración más alta de los elementos seleccionados para definir los niveles de riesgo, mientras que los códigos en donde predominan los valores 1 y 2 permiten establecer que la presencia de los elementos expuestos ante un posible accidente aéreo es menos significativa. Es por ello que el análisis de los códigos obtenidos permite establecer cuáles son las unidades espaciales en donde, al existir una mayor concentración de elementos vulnerables, existe un mayor riesgo en caso de que se llegara a presentar un accidente aéreo.

Sin embargo, teniendo en cuenta que puede haber una gran diferencia de una unidad espacial a otra en lo que a presencia de elementos expuestos se refiere, es necesario establecer una jerarquización de los niveles de riesgo que permita representar los códigos obtenidos en un mapa que facilite llevar a cabo un análisis de la distribución del riesgo en el espacio de estudio.

El procedimiento para definir dichos niveles de riesgo está basado en el hecho de que, en el caso de que ocurra un accidente aéreo, a mayor presencia de las variables por unidad espacial, los efectos, repercusiones, así como costos sociales y económicos, serán más altos. Por ejemplo, las consecuencias resultado de una aeronave accidentada en una unidad espacial en donde a consecuencia del análisis cualitativo se obtuvo el código 11111, que significa muy baja presencia de elementos vulnerables, no serán las mismas que en la unidad espacial cuyo código resultante fue 35443, ya que éste implica un rango medio en el número de habitantes, muy alto en el número de hospitales, alto en el número de escuelas, alto en la longitud de la red vial y medio en el número de gasolineras. Es decir, en el caso de esta unidad espacial el hecho de que exista una mayor cantidad de elementos expuestos, y por lo tanto vulnerables, implica que es un espacio de mayor riesgo ante la posibilidad de un accidente aéreo.

Partiendo de este hecho se tomó la determinación de realizar la sumatoria de los cinco valores, correspondientes a cada uno de los cinco indicadores de cada unidad espacial en el entendido de que, mientras más alto es el valor obtenido existe un mayor número de elementos expuestos, lo cual aumenta el riesgo de forma considerable.

De esta forma, en las unidades espaciales donde se obtuvo el código 11111 el resultado de sumar cada uno de estos elementos arroja el 5 como valor, que lo ubica en el nivel más bajo, lo que implica que el riesgo en estas unidades espaciales es muy bajo. Por su parte, la

sumatoria del código 35443 resulta 19, valor máximo obtenido, lo que refleja que en esta unidad espacial el riesgo es muy alto.

Este procedimiento fue llevado a cabo con cada una de las 2,000 unidades espaciales analizadas obteniendo valores entre 5 y 19, los cuales fueron ubicados en cinco rangos utilizando el método de Jenks, lo que permitió definir cinco niveles de riesgo. (Cuadro 4.8).

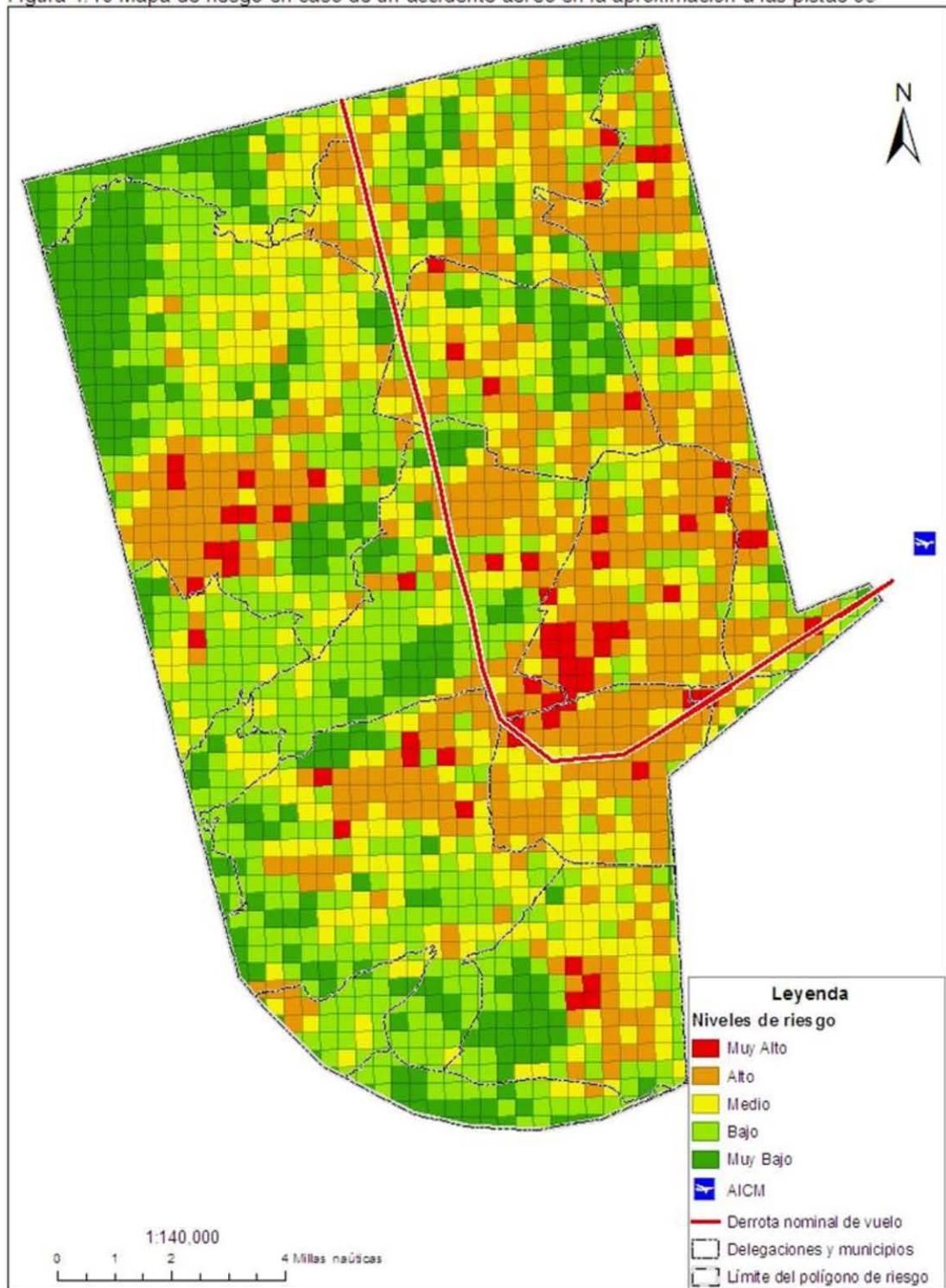
Cuadro 4.8 Determinación de niveles de riesgo en base a los rangos.		
Rangos	Nivel de riesgo	% de riesgo (superficie)
5 – 6	Muy Bajo	19.1
7 – 9	Bajo	29.95
10 – 11	Medio	22.85
12 – 14	Alto	24.85
15 – 19	Muy Alto	3.25
Fuente: Elaboración propia.		

Los códigos correspondientes a cada nivel de riesgo así como la frecuencia con que se presentaron dentro del área de estudio se pueden observar de forma más clara en el cuadro 4.7. Los códigos correspondientes al nivel de riesgo muy bajo son los que se ubicaron dentro del bloque de color verde. El siguiente bloque dentro del cuadro, representado por un color verde más claro, correspondió a los códigos dentro del nivel de riesgo definido como bajo. Por su parte, los códigos definidos dentro del nivel de riesgo medio se identifican en el bloque de color amarillo. El nivel de riesgo alto está representado por el siguiente bloque de códigos mientras que los códigos ubicados dentro del bloque de color naranja representan las unidades espaciales donde el nivel de riesgo es muy alto.

Teniendo definidos los niveles de riesgo fue posible elaborar el mapa que representa el nivel de riesgo en cada unidad espacial en caso de que ocurra un accidente aéreo en el área de estudio. (Figura 4.10).

En este mapa se puede apreciar que la mayor concentración de las unidades espaciales que se ubican dentro del nivel de riesgo muy bajo se localiza principalmente al noroeste del polígono, y en menor proporción en la parte central y sur del área de estudio. Aún y cuando, en la parte noreste del polígono existen también algunas unidades espaciales con este nivel de riesgo la presencia es mucho menor. En términos porcentuales, las unidades espaciales ubicadas dentro del nivel de riesgo catalogado como muy bajo representan el 19.1% de la superficie del polígono.

Figura 4.10 Mapa de riesgo en caso de un accidente aéreo en la aproximación a las pistas 05



Fuente: Elaboración propia.

El nivel de riesgo clasificado como bajo se distribuye principalmente hacia el noroeste, oeste y sureste del área de estudio, donde se ubican las mayores concentraciones de unidades espaciales dentro de este rango, aunque también existen, en menor magnitud, algunas unidades espaciales dispersas al noreste que presentan este nivel de riesgo. De la superficie total del área de estudio el 29.95% corresponde a unidades espaciales con nivel de riesgo bajo.

El nivel de riesgo medio, que representa el 22.85% de la superficie del área de estudio, se aprecia distribuido prácticamente en toda la superficie del polígono, no obstante se pueden observar algunas concentraciones importantes de unidades espaciales ubicadas dentro de este rango localizadas principalmente al norte y al sureste.

En lo que se refiere al nivel de riesgo alto, que implica una presencia significativa de elementos expuestos ante la eventualidad de un accidente aéreo, la mayor concentración de unidades espaciales que se ubican dentro de esta categoría se distribuye principalmente en el área que va del centro hacia el este de la derrota nominal de vuelo. Aunque también, existe una concentración muy compacta y considerable de unidades espaciales con nivel de riesgo alto en la parte noroeste del polígono y otra más hacia el noreste del área de estudio, aunque ésta última un poco más dispersa. De la superficie total del polígono, el porcentaje que corresponde a unidades espaciales con nivel de riesgo alto constituye el 24.85%.

Por último, las unidades espaciales en donde el nivel de riesgo es muy alto, en función de que representan los espacios con la mayor concentración de elementos vulnerables, representan solamente el 3.25% de la superficie del polígono. La mayor concentración de territorio en donde el riesgo se puede catalogar como muy alto se ubica en el centro del área de estudio y, en menor medida, en una pequeña porción hacia el noroeste del polígono. El resto de las unidades espaciales dentro de este rango se encuentran muy dispersas hacia el noreste, este y sur, por lo que no representan concentraciones muy significativas.

En términos generales se puede establecer que el área del polígono con la mayor concentración de unidades espaciales ubicadas dentro de los niveles de riesgo medio, alto y muy alto se localizan principalmente en toda la porción al este de la derrota nominal de vuelo. Mientras que en la porción hacia el oeste, se distribuyen en mayor medida las unidades espaciales con los niveles de riesgo más bajo, aún y cuando existen dos áreas (al noroeste y en el centro del polígono) que concentran unidades espaciales con riesgo alto y algunas, muy pocas y dispersas, unidades donde el riesgo es muy alto.

Ahora bien, si tomamos como referencia los dos tramos en los que se divide la derrota nominal de vuelo que siguen las aeronaves en su aproximación al AICM, se puede observar

que en el tramo de la fase de aproximación inicial existen unidades espaciales relacionadas con cualquiera de los cinco niveles de riesgo definidos. A su vez, en el tramo de la fase de aproximación final, donde las aeronaves se encuentran cada vez más cercanas a la superficie debido a la proximidad con el aeropuerto, existe una alta concentración de unidades espaciales cuyo nivel de riesgo es alto, que se combinan con algunas otras unidades espaciales que, aún y cuando aparecen en un número muy reducido, presentan niveles de riesgo medio y muy alto. (Figura 4.10).

De esta forma se tiene un panorama general de cuáles podrían ser los espacios que podrían verse más afectados si ocurriera un accidente aéreo dentro de esta área. Sin embargo, no hay que perder de vista que la delimitación del área de estudio que se analizó para establecer las posibles afectaciones y repercusiones que podría provocar una catástrofe de esta naturaleza, se definió a partir de los procedimientos teóricos marcados por la OACI, en los que se establecen las dimensiones que deben tener los corredores aéreos utilizados por las aeronaves en cada fase de vuelo. Esto trae como consecuencia que la extensión del área que corresponde al corredor de aproximación final sea muy extensa e involucre a un gran número de actores sociales.

Desde el punto de vista teórico se puede establecer que las aeronaves que están efectuando el procedimiento de aproximación final a las pistas 05 en el AICM se pueden encontrar sobrevolando cualquier punto del área del polígono que ya hemos analizado, en virtud de que este espacio satisface los requerimientos mínimos de seguridad para permitir el desarrollo de las operaciones aéreas. Sin embargo, en la práctica, el comportamiento cotidiano de las operaciones aéreas puede ayudar a establecer un área de menor dimensión que permita acotar el espacio de análisis y ayude a establecer de forma más precisa las unidades espaciales que podrían verse más afectadas.

4.5.4 El comportamiento habitual de las operaciones de aproximación a las pistas 05 en el AICM.

La necesidad de establecer espacios de protección en los corredores aéreos surgió del hecho de que las primeras generaciones de los sistemas de navegación que se utilizaron, tanto en tierra como a bordo de las aeronaves, no proporcionaban una guía de gran precisión para las operaciones aéreas. Las limitaciones tecnológicas de los primeros equipos de navegación, comunicación y de control de tránsito aéreo, aunado a factores como las condiciones meteorológicas, los vientos y la pericia de los pilotos, generaron que existieran desviaciones significativas entre las trayectorias que en la práctica seguían las aeronaves y las rutas publicadas en las cartas de navegación aérea que en teoría debían seguir.

Por esta razón la OACI determinó el establecimiento de espacios aéreos en los que se incluyeran las rutas aéreas más un área adicional de protección en la que se garantizara que, aún y cuando las aeronaves tuvieran alguna desviación, se tendría cobertura de las radioayudas para la navegación, recepción de comunicaciones y libramiento de obstáculos. De esta forma, en 1951, la OACI publicó el documento 8168 “Operación de aeronaves”, que en el volumen II “Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos” establece las dimensiones que deben de tener las rutas aéreas y sus espacios de protección.

Con el paso de los años los adelantos tecnológicos que se aplicaron en los sistemas de navegación aérea, así como la utilización del radar, que permitía observar, vigilar y guiar a las aeronaves y la aparición de sistemas de comunicación más modernos y eficientes llevaron a que la OACI se planteara la necesidad de actualizar los procedimientos de construcción de espacios aéreos para adaptarse a los adelantos tecnológicos y las exigencias de las nuevas aeronaves. Posterior a su primera publicación en 1951, el documento que rige la forma como se deben de establecer los espacios aéreos y sus áreas de protección ha sufrido una serie de enmiendas, siendo la última realizada en 1996. Sin embargo, de ese año a la fecha, continúan los adelantos tecnológicos y la modernización de los equipos y sistemas utilizados en el transporte aéreo que han ayudado a mejorar sustancialmente la precisión con que se desplazan las aeronaves a lo largo de las rutas publicadas y han permitido dar un mejor seguimiento desde tierra a las operaciones aéreas.

Actualmente los espacios aéreos se siguen diseñando de acuerdo a los procedimientos y dimensiones establecidos por la OACI, abarcando áreas tan extensas como la que contiene el procedimiento de aproximación final a las pistas 05 en el AICM. Sin embargo, la exactitud de los nuevos sistemas de navegación satelital y las herramientas con que cuentan los servicios de control de tránsito aéreo permiten establecer de forma más precisa la posición de las aeronaves.

En el caso específico del AICM el procedimiento de aproximación final se lleva a cabo dentro de un ambiente completamente radar, lo cual permite a los servicios de control de tránsito aéreo observar en todo momento el desenvolvimiento de las aeronaves durante la etapa de aproximación final al aeropuerto. Auxiliados con un video mapa en el que se muestran las trayectorias y rutas que deben de mantener las aeronaves durante sus operaciones, el control de tránsito aéreo puede asegurarse de que las aeronaves se establezcan y mantengan de manera correcta en la trayectoria publicada en las cartas de navegación y, de existir alguna desviación en dicha trayectoria, corregirla de manera oportuna. El uso de esta herramienta ha propiciado que las desviaciones que se llegan a presentar durante el procedimiento de aproximación resulten poco significativas.

De esta forma, aún y cuando los espacios aéreos y sobre todo las áreas adicionales de protección se siguen estableciendo de acuerdo con la normatividad y parámetros establecidos por la OACI, en la práctica las operaciones de aproximación de las aeronaves que pretenden aterrizar en las pistas 05 del AICM se llevan a cabo utilizando un espacio mucho más reducido al polígono de riesgo que ya se ha delimitado y analizado anteriormente y que está basado en el área total que, de acuerdo con la OACI, debe incluir el procedimiento de aproximación final.

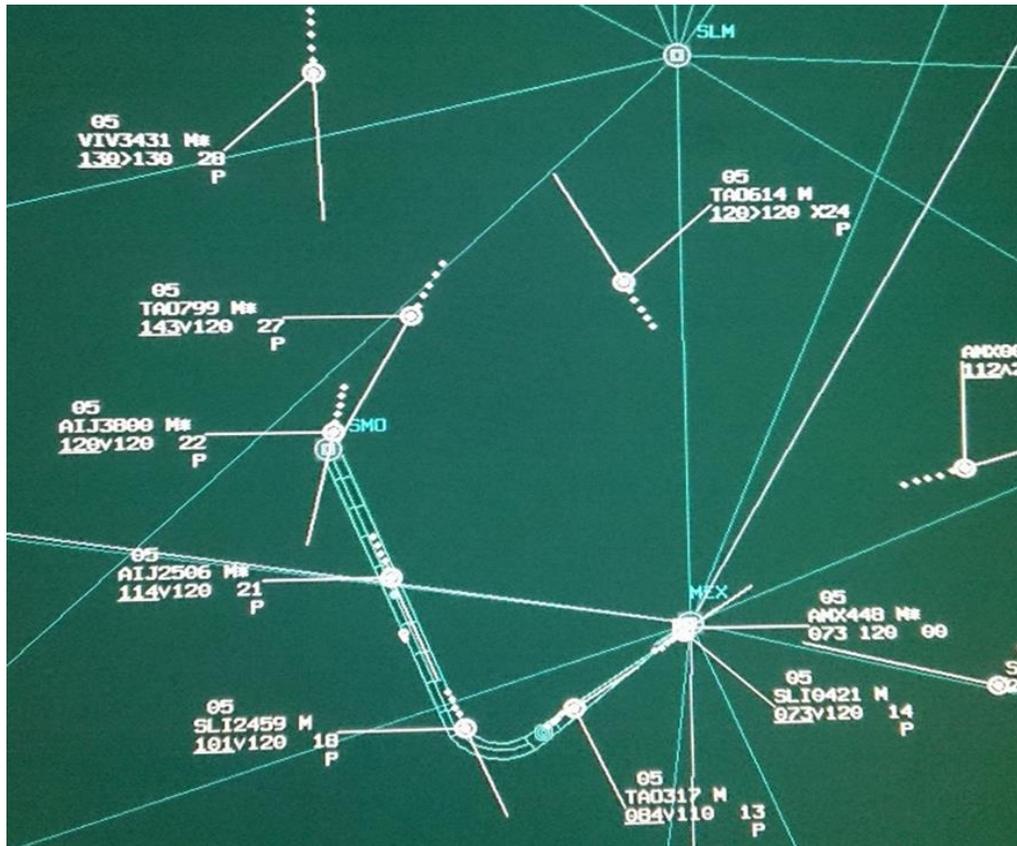


Figura 4.11 Imagen de radar de la fase de aproximación final a la pista 05 del AICM.
Fuente: Fotografía propia tomada el 24 de julio de 2013.

El espacio real en el que hoy en día se desenvuelven las aeronaves en la trayectoria de aproximación final se puede apreciar en la figura 4.11, que muestra una imagen de la pantalla de radar que utilizan los servicios de control de tránsito aéreo para guiar a las aeronaves. En la parte inferior de la imagen se puede observar la trayectoria de aproximación final, un corredor que tiene la forma de un cono que comienza en el

VOR/DME Mateo, representado por un círculo con un cuadrado dentro y que se identifica con las letras SMO en la parte superior del cono, y termina en el VOR/DME México, ubicado dentro del AICM, que se puede identificar con las letras MEX. También se puede observar un círculo al suroeste del VOR/DME MEX que representa el fijo publicado en las cartas aeronáuticas, conocido como PLAZA, y que es el punto que divide la trayectoria de aproximación en aproximación inicial y aproximación final.

Este cono de aproximación que utilizan los servicios de control de tránsito aéreo como referencia ha sido establecido en función de que el uso conjunto de los sistemas de navegación, el sistema de radar y el sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS) han permitido que las operaciones en esta fase del vuelo se lleven a cabo de forma más precisa, reduciendo de forma considerable las desviaciones que experimentaban anteriormente las aeronaves. El uso cotidiano de estos equipos y la observación continua que se hace del comportamiento de las aeronaves durante la fase de aproximación final, llevaron a las autoridades encargadas de los servicios de tránsito aéreo a establecer como una herramienta de referencia y ayuda en las pantallas de radar utilizadas por los controladores de tráfico aéreo el cono de aproximación, cuyas dimensiones cubren el área que en la práctica recorren las aeronaves durante esta fase del vuelo.

Tomando como referencia el VOR/DME SMO, punto en donde inicia el procedimiento de aproximación, el cono de tiene una longitud de 0.5 millas náuticas (0.93 km) hacia cada lado de la trayectoria nominal de vuelo, representada en este caso por la línea en la parte central del corredor, que es la trayectoria publicada en las cartas de navegación aérea que deben de seguir las aeronaves para completar correctamente la aproximación. Este espacio de 1 milla náutica (1.8 km) de ancho es en el que los servicios de tránsito aéreo centran la atención cuando las aeronaves llevan a cabo el procedimiento de aproximación. La función de los servicios de tránsito aéreo en esta área es asegurarse de que las aeronaves se mantengan en todo momento dentro de este corredor mostrado en el video mapa. Estas 0.5 millas náuticas a ambos lados de la trayectoria se mantienen hasta PLAZA, punto a partir del cual el ancho del corredor mostrado en el video mapa se va reduciendo gradualmente hasta llegar a 0 en el punto donde comienza la cabecera de la pista utilizada para el aterrizaje.

El conocer las dimensiones de este corredor, que en la práctica es el área que recorren diariamente las aeronaves durante la fase de aproximación final al AICM, puede ayudar a establecer de forma más precisa el espacio que podría verse afectado en el caso de que alguna de las aeronaves que se encuentra en esta etapa del vuelo se accidentara. En este sentido es importante considerar que en virtud de que los servicios de control de tránsito aéreo establecen una separación de 4 millas náuticas (7.41 km) entre aeronaves en la

aproximación al AICM, en las horas de mayor tráfico puede haber en el corredor de aproximación en diferentes posiciones hasta cuatro aeronaves y una quinta aeronave aterrizando en la pista del aeropuerto.

En la figura 4.11 se puede apreciar una primera aeronave prácticamente sobre SMO, representada por un círculo blanco con una línea del mismo color que indica hacia dónde se dirige la aeronave, un segundo avión 4 millas náuticas adelante, mientras que una tercera aeronave está próxima a iniciar el viraje hacia la izquierda para sobrevolar PLAZA, y una cuarta aeronave que ya ha cruzado PLAZA y se encuentra a 3 millas náuticas del AICM. La velocidad promedio a la que se desplazan las aeronaves entre SMO y PLAZA es de 160 nudos (296.32 km/h), a partir de PLAZA comienzan a reducir la velocidad en función de las características de cada tipo de aeronave hasta llegar a detenerse en la pista del aeropuerto. El tiempo promedio que lleva a cada aeronave completar la fase de aproximación final desde SMO hasta el AICM es de cinco minutos.

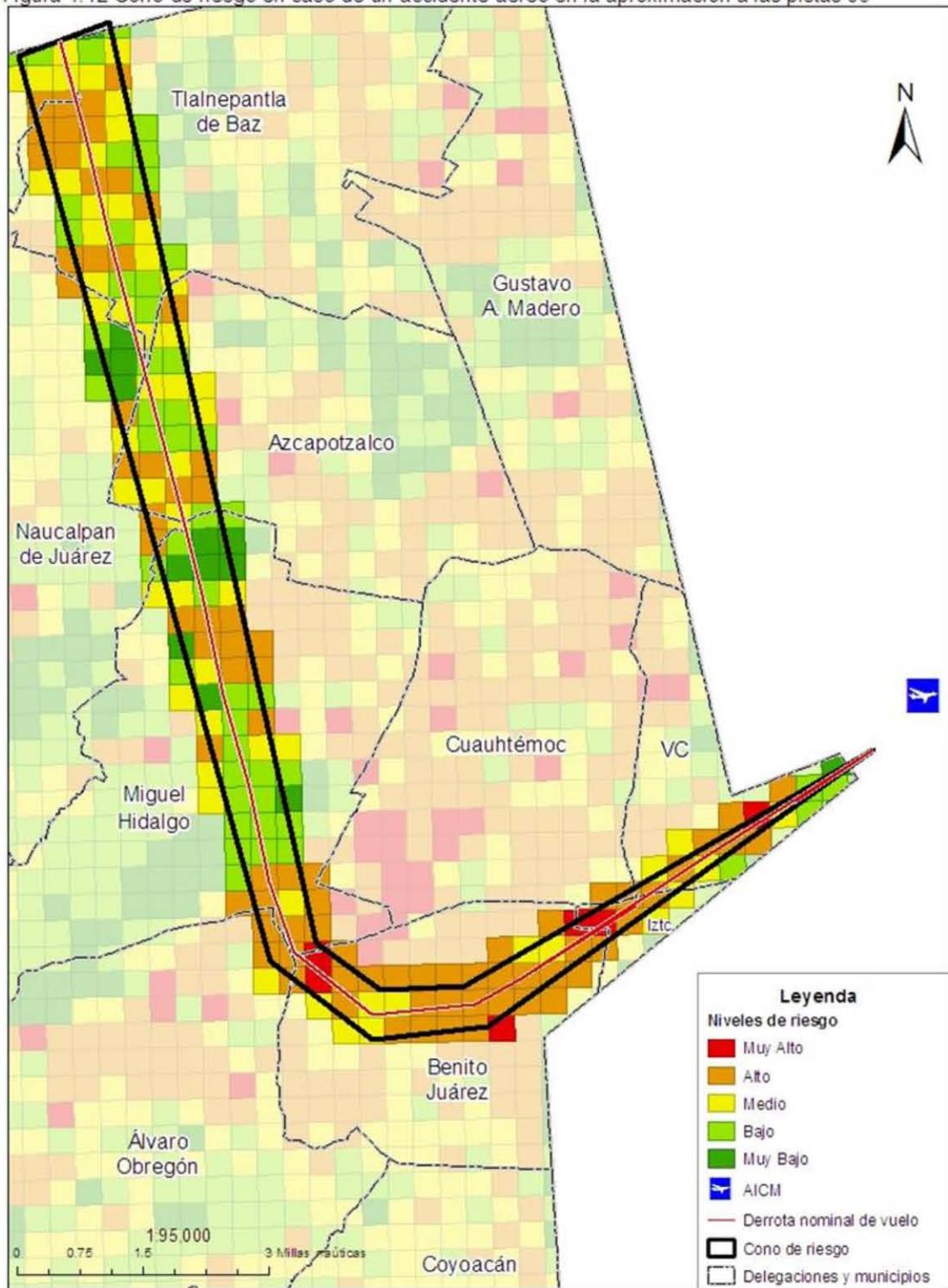
Si bien este corredor de aproximación constituye sólo una herramienta de referencia para el control de tránsito aéreo y, por lo tanto no sustituye el área de aproximación con sus áreas de protección definidas de acuerdo con los parámetros de la OACI, el tener mejor identificado el espacio realmente sobrevolado por las aeronaves puede ayudar a determinar de forma más precisa los elementos más vulnerables ante la posibilidad de que se presente un fenómeno como el que estamos estudiando.

De la misma forma como se hizo con el área de aproximación final, se obtuvieron las coordenadas geográficas del corredor de aproximación, con la intención de elaborar otro mapa en el que se incluyera, además del polígono de riesgo, el cono de aproximación con el objetivo de acotar de forma más precisa el área que es más factible de verse afectada por un accidente aéreo.

En este nuevo mapa en donde se incluyó el cono de aproximación final, cuya superficie total es de 3,727.72 hectáreas, se puede apreciar que el espacio dentro del cual se mantienen las aeronaves durante la aproximación final se reduce de forma muy considerable con respecto al espacio del polígono de riesgo, ya que esta área representa solo el 6.9 % de la superficie total destinada para el procedimiento de aproximación final a las pistas 05 en el AICM. (Figura 4.12).

Esta delimitación del corredor de aproximación permite establecer y definir de forma más precisa el número de unidades espaciales expuestas y las condiciones de vulnerabilidad de estos espacios.

Figura 4.12 Cono de riesgo en caso de un accidente aéreo en la aproximación a las pistas 05



Fuente: Elaboración propia.

Dentro del área que corresponde al cono de aproximación se ubican 215 unidades espaciales y, en función de que esta superficie corresponde a un área de referencia ubicada dentro del área total de la zona disponible para la aproximación, se tomó la decisión de incluir las unidades espaciales íntegras aún y cuando la superficie total de algunas de éstas no se ubican por completo dentro del corredor de aproximación.

De estas 215 unidades espaciales la mayor parte corresponde a espacios que presentan un nivel de riesgo alto pues son 83 unidades espaciales, que representan el 38.60% de la superficie del corredor, las que se ubican total o parcialmente dentro del área del cono de aproximación. Las unidades espaciales con nivel de riesgo medio que se encuentran dentro de este espacio, que en total suman 57, representan el 26.51% de la superficie. Por su parte, las unidades espaciales clasificadas con nivel de riesgo bajo ocupan un 23.72% del total del cono de aproximación, ya que existen 51 unidades espaciales con esta característica dentro de este espacio. En cuanto a las unidades espaciales que han sido identificadas con un nivel de riesgo muy bajo, son muy pocas las que se ubican dentro del cono de aproximación, pues existen sólo 18 que porcentualmente representan únicamente el 8.37% de la superficie total de este cono. Por último, existen solamente 6 unidades espaciales dentro del rango de nivel de riesgo muy alto, que constituyen los espacios en donde existe la mayor cantidad de elementos expuestos y que representan el 2.79% del área total del cono de aproximación.

Ahora bien, si analizamos la distribución de las unidades espaciales tomando como referencia los dos segmentos en los que se divide el procedimiento de aproximación final (el segmento de aproximación inicial y el segmento de aproximación final) podemos observar que en el tramo que corresponde a la aproximación inicial, el segmento que va de SMO hasta el punto donde las aeronaves inician el viraje hacia la izquierda, predominan las unidades espaciales que presentan niveles de riesgo muy bajo y bajo, aunque existe también en menor medida, presencia de unidades espaciales cuyo nivel de riesgo se ubica como medio y alto. En el segmento del viraje, que corresponde todavía a la fase de aproximación inicial, se puede apreciar que en el área se encuentran principalmente unidades espaciales con nivel de riesgo alto; también existen 6 unidades espaciales de nivel de riesgo medio y 2 unidades espaciales de nivel de riesgo muy alto.

En el segmento que corresponde al tramo de aproximación final que va de PLAZA al AICM, la superficie del cono de aproximación se reduce considerablemente, por lo que existe una cantidad menor de unidades espaciales dentro de este espacio. En este segmento es muy evidente que las unidades espaciales que predominan corresponden a las de nivel de riesgo alto, con una presencia muy escasa de unidades espaciales que se ubican en los niveles de riesgo medio y muy alto.

A partir del dato estadístico elaborado por la compañía fabricante de aeronaves Boeing, que se presentó en el capítulo 2, donde se establece el porcentaje de accidentes aéreos y el porcentaje de víctimas mortales a bordo de las aeronaves por fase de vuelo, podríamos establecer cuál es el área más vulnerable ante el escenario de un accidente de aviación en el espacio cercano al AICM. De acuerdo con los datos presentados por Boeing, el 14% de los accidentes de aeronaves comerciales se presentan durante el segmento de aproximación inicial, mientras que en el segmento de aproximación final el porcentaje es de 16%, esto implica que en el área comprendida entre PLAZA y el AICM, existe una probabilidad ligeramente más alta de que se presente un accidente aéreo en comparación con el segmento de SMO a PLAZA.

Sin embargo, cuando comparamos el dato sobre el porcentaje de víctimas mortales a bordo de las aeronaves en estas dos fases del vuelo los porcentajes se invierten. De acuerdo con el informe presentado por Boeing en el segmento de aproximación inicial se presentan el 19% de las muertes en los accidentes de aviación, mientras que en el segmento de aproximación final las víctimas mortales representan el 13%.

De esta forma tenemos que en el segmento de aproximación inicial existe una tendencia más baja a sufrir accidentes y una tasa de mortalidad más alta mientras que en el segmento de aproximación final existe mayor probabilidad de que se presente un accidente, pero la tasa de mortalidad es menor. Esta situación podría estar directamente relacionada con la distancia a la que la aeronave se precipita a tierra, lo que podría influir en que la magnitud y consecuencias del impacto sean distintas.

Derivado de que en el segmento de aproximación inicial las aeronaves se encuentran a una altura mayor sobre el terreno, en caso de presentarse alguna situación que provoque la caída sin control de la aeronave, ésta recorrería una mayor distancia y desarrollaría una mayor velocidad hasta llegar a la superficie. El impacto a mayor velocidad en esta fase del vuelo podría tener graves repercusiones para la aeronave y sus ocupantes. Por otro lado, la posición de la aeronave con respecto a la superficie en el segmento de aproximación final es más baja, lo que implica que al recorrer una menor distancia desarrolla una menor velocidad, razón por la cual la magnitud del impacto puede tener menores repercusiones negativas para la aeronave y los pasajeros.

En el caso específico de la aproximación al AICM la distancia que separa a las aeronaves de la superficie en el segmento de aproximación inicial va de 909.52 m sobre SMO a 452.34 m sobre PLAZA, mientras que en el segmento de aproximación final la distancia entre las aeronaves y el terreno se ubica entre 452.34 m y 0 m. La altura que separa a las aeronaves del terreno en el segmento de aproximación inicial representa el doble de la altura en el segmento de aproximación final. Se puede esperar que una caída de más de 900 m tenga

mayores repercusiones y consecuencias que las que se pudieran presentar si la caída se diera a una altura menor de 450 m.

No hay que perder de vista que los datos concernientes al número de víctimas mortales a consecuencia de un accidente aéreo presentados por Boeing reflejan solamente el número de decesos de personas a bordo de la aeronave, por lo que no incluye información sobre víctimas en tierra o daños en la infraestructura en el área del accidente, que son los datos que tienen mayor relevancia para este trabajo. Sin embargo, esta información puede servir como referencia y dar la pauta para dimensionar las afectaciones que podrían presentarse en la superficie en caso de que una aeronave se accidentara en el área ubicada dentro del cono de aproximación.

A partir de estos datos se puede concluir que las unidades espaciales que se encuentran en el segmento de aproximación inicial tienen una menor probabilidad de que se presente una catástrofe aérea, aunque el impacto de ésta pudiera tener mayores consecuencias para la población, la infraestructura y las actividades económicas asentadas en el área. En contraste, las estadísticas indican que en el segmento de aproximación final el riesgo de un accidente aéreo es mayor pero las consecuencias de este fenómeno para los elementos vulnerables asentados en la superficie pudieran tener menores repercusiones. Conocer esta información puede servir como punto de partida y contribuir a establecer, en primera instancia, un plan de prevención que se enfoque particularmente en los espacios más expuestos y vulnerables y, en segunda instancia, un plan de emergencia que permita a las autoridades y a la sociedad en general saber cómo actuar ante un accidente aéreo.

CONCLUSIONES.

El desarrollo de trabajos enfocados en el campo de la cartografía de riesgos tecnológicos se ha convertido en una herramienta a través de la cual la geografía ha hecho importantes contribuciones en el ámbito de la prevención y mitigación de desastres así como en el rubro de la ordenación del territorio.

A pesar de la dificultad que implica la definición de los espacios susceptibles a las amenazas que representan los riesgos tecnológicos, es posible reconocer los potenciales impactos negativos que algunas actividades económicas pueden representar para el entorno físico y social en el cual se llevan a cabo.

La operación del transporte aéreo en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, por ejemplo, es una actividad que representa grandes ventajas económicas y competitivas para el país, sin embargo, constituye también un potencial riesgo de tipo tecnológico para el área urbana y el entorno social que se asienta alrededor del aeropuerto debido a la amenaza latente de un accidente aéreo.

Estadísticamente ha sido documentado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), las compañías fabricantes de aeronaves y las autoridades aeronáuticas de diversos países que la mayor incidencia de accidentes aéreos en el mundo ocurre durante la fase de aproximación a los aeropuertos. Esto significa que la mayoría de los accidentes de aviación tienen lugar en la cercanía de las instalaciones aeroportuarias.

Estos datos cobran mayor relevancia en los casos en los que los aeropuertos se encuentran muy cerca de las grandes concentraciones de población o que han sido rodeados por las áreas urbanas como consecuencia del crecimiento indiscriminado y sin planificación de las grandes urbes. Ante la posibilidad de que ocurra un accidente aéreo cercano a un aeropuerto con estas características, el impacto podría afectar no solo a la población, sino también a la infraestructura, los servicios y el entorno asentados en el área bajo la cual transitan las aeronaves.

Actualmente, el caótico y desordenado crecimiento urbano de la Ciudad de México y su zona metropolitana ha llevado al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México a prestar los servicios de transporte aéreo rodeado de una gran concentración de infraestructura de diversos tipos y tamaños, en donde se asienta una gran cantidad de población y donde se llevan a cabo un gran número de actividades de diversa naturaleza. Aunado a esto, las condiciones técnicas de operación bajo las que la terminal aérea presta sus servicios de manera cotidiana, especialmente la orientación de sus pistas y los vientos predominantes que determinan la dirección en la que despegan o aterrizan las aeronaves en el aeropuerto, permiten constatar que anualmente entre el 80% y 90% de las operaciones aéreas en el aeropuerto capitalino se llevan a cabo utilizando las pistas 05 para los aterrizajes, lo que

implicaría que en caso de un accidente aéreo el impacto que se podría generar sobre el área urbana podría tener graves consecuencias.

Esto se desprende del hecho de que al ubicar sobre la superficie la trayectoria que siguen las aeronaves que operan en el AICM, específicamente durante la fase de aproximación para aterrizar en las pistas 05, se observó que las aeronaves se acercan al aeropuerto en una trayectoria que comienza en el municipio de Atizapán, en el Estado de México, y recorre parte de los municipios de Tlalnepantla y Naucalpan en dirección Noroeste – Sureste y continúan cruzando el Distrito Federal de un extremo a otro en dirección Oeste – Este, aproximándose cada vez más a la superficie sobre un área que se encuentra completamente urbanizada y con una fuerte presencia de población.

Ante la eventualidad de que en esta área se pudiera presentar un accidente aéreo, partiendo del dato documentado por la OACI que establece la fase de aproximación como la más proclive a sufrir accidentes de esta naturaleza, se tomó la determinación de elaborar un mapa de riesgo en el que se reflejara, en primer lugar, el área comúnmente sobrevolada por las aeronaves cuando se aproximan para aterrizar en las pistas 05 del AICM y, en segundo lugar, establecer posibles niveles de riesgo ante la eventualidad de un accidente aéreo en dicho área, en función de los elementos vulnerables que se asientan en este espacio.

Sin embargo, cartografiar el escenario de un posible riesgo tecnológico, como es el caso de un accidente aéreo en la fase de aproximación a las pistas 05 del AICM, constituyó todo un reto en función de la dificultad que significó el establecer el alcance espacial que el accidente de una aeronave pudiera traer consigo. Además, en términos generales, las fuentes disponibles sobre la cartografía de riesgos de este tipo son muy escasas y, en el caso específico del AICM, no existe ningún trabajo previo al respecto. Por este motivo se requirió establecer un proceso metodológico, recurriendo a los limitados recursos disponibles, que permitiera llevar a cabo una serie de análisis y procedimientos a partir de los cuales fuera posible:

1. Definir la forma y el tamaño de la posible área expuesta.
2. Establecer un procedimiento de selección de los elementos o variables dentro del área expuesta, las cuales pudieran jerarquizarse considerando su nivel de exposición y vulnerabilidad.
3. Georreferenciar la distribución de las variables seleccionadas dentro del área de estudio y definir los posibles niveles de riesgo para el espacio en cuestión.
4. Construir un modelo cartográfico que permitiera obtener como resultado un mapa en el que fuera posible observar, en primera instancia, el área de la ZMVM que es sobrevolada por las aeronaves durante la fase de aproximación final al AICM y, en segunda instancia, las áreas de dicho espacio que se podrían ver más afectadas ante el escenario de un accidente aéreo.

El resultado final de implementar este proceso metodológico generó aportaciones tanto de orden teórico como práctico para el estudio y análisis de un accidente aéreo.

En el ámbito teórico, recurriendo al análisis bibliográfico y utilizando principios de análisis espacial, se diseñó un procedimiento metodológico para identificar y cuantificar el espacio urbano bajo riesgo de sufrir los impactos negativos de un accidente aéreo.

El punto de partida para lograr este objetivo requirió establecer y delimitar sobre la superficie, el área sobre la cual sobrevuelan diariamente las aeronaves durante la fase de aproximación a las pista 05 del AICM. Esta delimitación se llevó a cabo tomando en consideración las observaciones que a lo largo de 20 años de experiencia como controlador de tránsito aéreo me han permitido conocer las rutas y el comportamiento cotidiano del transporte aéreo. A partir de ahí, la recopilación sobre la información disponible de los procedimientos dispuestos por la OACI y las autoridades aeronáuticas para el establecimiento de los corredores aéreos utilizados por las aeronaves en cada fase de vuelo (los cuales tienen características específicas y particulares para cada aeropuerto) fueron fundamentales para delimitar el área de estudio.

En el caso del AICM el corredor utilizado durante la fase de aproximación resultó ser un polígono irregular de 53,492.22 hectáreas que, al ubicarlo sobre la superficie incluye, de manera total o parcial, cuatro municipios del Estado de México y doce delegaciones del Distrito Federal. Toda esta superficie se caracteriza por un alto grado de urbanización y por una alta densidad de población.

Una vez definido el espacio utilizado por las aeronaves durante la fase de aproximación al AICM (y por lo tanto susceptible a ser afectado por un accidente aéreo), fue necesario definir y valorar dentro de éste los elementos o variables del entorno que pudieran ser considerados como los más vulnerables ante la eventualidad de un fenómeno de esta naturaleza. Sin embargo, las variables que pueden ayudar a determinar la vulnerabilidad del espacio ante la posibilidad de un accidente aéreo son difíciles de seleccionar, especialmente si tomamos en consideración que en el área delimitada existe una alta concentración de población y diversos tipos de instalaciones e infraestructuras que son el escenario de un sinnúmero de actividades de todo tipo, que en menor o mayor medida forman parte importante de la compleja dinámica que permite mantener en funcionamiento un espacio tan heterogéneo como la ZMVM

Por esta razón, para llevar a cabo la selección de variables se tomó la determinación de utilizar aquellos elementos cuya vulnerabilidad se incrementa como resultado de su valor funcional, estratégico, económico, cultural o por la concentración de personas que suponen, por lo que las repercusiones en caso de verse afectadas por un accidente grave implicarían un costo muy alto para la sociedad.

Partiendo de esta premisa y tomando en consideración que ante cualquier accidente grave la población ubicada en el escenario de cualquier siniestro es la principal afectada, la selección de variables para definir los posibles niveles de riesgo del área de estudio se basó, en primer lugar, en la distribución de población; en segundo lugar, en las infraestructuras que en función de los servicios que prestan de manera cotidiana concentran un elevado número de personas durante largos periodos del día o el año y; por último, se tomó en consideración la presencia de equipamientos distribuidos en el área que pudieran contribuir a incrementar o maximizar los efectos negativos de un accidente aéreo.

De esta manera, la población, los hospitales, las escuelas, la red vial y las gasolineras ubicadas dentro del área de estudio, fueron las cinco variables que se tomaron en consideración como elementos vulnerables ante la eventualidad de un accidente aéreo. No cabe duda que un estudio más a fondo sobre este tema podría enriquecer el procedimiento llevado a cabo para esta selección de variables, pero por ahora consideramos que estas variables son adecuadas para una primera aproximación al análisis de riesgos derivados de un accidente aéreo.

Contando ya con estas variables como punto de partida, el procedimiento para establecer el riesgo al que podrían estar expuestos estos elementos como resultado de la operación del transporte aéreo, requirió determinar la distribución y concentración espacial de cada una de estas variables a lo largo y ancho del área de estudio. El objetivo de este proceso estuvo enfocado en definir las zonas de la ZMVM donde existe la mayor concentración de elementos vulnerables a los procedimientos de aproximación del AICM, partiendo de la premisa de que a mayor concentración de elementos vulnerables, más elevado es el riesgo en caso de un accidente aéreo.

El uso del SIG en esta fase del proceso resultó de vital importancia ya que a través de esta herramienta se pudo establecer, en primera instancia, el número de elementos de cada una de las variables presentes en el área de estudio y; en segunda instancia, se pudo establecer de forma precisa, la ubicación de cada uno de estos elementos dentro del espacio en cuestión.

En esta etapa del proceso el SIG también fue de gran ayuda para dividir el área de estudio, cuya extensión resultó ser bastante amplia, en una serie de unidades espaciales más pequeñas y de tamaño homogéneo, representadas por una malla de 500m x 500m, que permitió pasar de un área de riesgo demasiado amplia para ser útil, a una de menores dimensiones a partir de la cual se pudiera llevar a cabo un análisis más preciso y enfocado de los elementos expuestos y susceptibles de ser afectados por un accidente aéreo.

Como consecuencia de este análisis fue posible establecer un criterio cualitativo para definir el nivel de riesgo en cada una de las unidades espaciales en función de los elementos expuestos y, por lo tanto, vulnerables que se ubicaron dentro de cada unidad espacial. Este proceso también fue arduo pues el número de unidades espaciales en que se dividió el

polígono de riesgo resultó ser considerablemente elevado, 2,000 en total. Además, el número de variables a tomar en cuenta dentro de cada una de estas unidades espaciales también fue considerablemente alto, por lo que el proceso de análisis requirió del cotejo y revisión de una gran cantidad de datos.

El resultado de este proceso dio la pauta para generar aportaciones de tipo práctico que fueron plasmadas cartográficamente en un mapa en el que se puede observar, en primera instancia, el área de cada demarcación política tanto del Distrito Federal como del Estado de México que se ubican bajo el amplio polígono que limita la fase de aproximación final a las pistas 05 del AICM.

En segunda instancia se puede apreciar en el mapa la derrota nominal de vuelo, que muestra la trayectoria generalmente utilizada por las aeronaves en la parte final de su recorrido hacia el AICM, permitiendo con ello acotar de forma significativa un área muy extensa, y poder ubicar de forma más precisa sobre la superficie el espacio que es realmente sobrevolado de forma cotidiana por las aeronaves que aterrizan en las pistas 05 del AICM.

Finalmente, el análisis del número y distribución espacial de los elementos seleccionados como variables expuestas a la amenaza de un accidente aéreo permitió establecer, para cada una de las 2,000 unidades espaciales analizadas, un nivel de riesgo, el cual refleja la magnitud del daño que se podría generar en términos de población, infraestructura y equipamiento si alguna de las aeronaves que intentan aterrizar en las pistas 05 del AICM sufriera un accidente durante la fase de aproximación.

Con la definición de un total de cinco niveles de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto), el mapa permite identificar las áreas específicas del corredor aéreo designado para ser utilizado por las aeronaves durante su aproximación a las pistas 05 del AICM, que son sobrevoladas realmente por las aviones de forma habitual y que se encuentran en mayor contacto con la infraestructura, la población y sus actividades cotidianas.

Aunado al aporte cartográfico, a través de este trabajo se puede ayudar a entender la estrecha relación que existe entre la operación del transporte aéreo en el AICM y el entorno social que se ubica en los alrededores del aeropuerto; pues aún y cuando el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México tiene una ubicación espacial fija, el alcance e impacto de su actividad puede rebasar por mucho los límites de sus instalaciones, por lo que algunas áreas de la ZMVM que se pueden considerar alejadas del aeropuerto y la población que ahí se asienta, podrían verse afectadas por el constante flujo de aeronaves hacia el AICM, aún y cuando éste pase desapercibido para un alto porcentaje de la población que se asienta bajo su recorrido.

De la misma forma, los resultados obtenidos en el mapa de riesgo ante la eventualidad de un accidente aéreo, pueden ser de utilidad para las autoridades de cada una de las demarcaciones políticas que están incluidas dentro del área en donde la interacción entre

aeronaves y el entorno social es mayor, ya que a través del mapa es posible identificar, en primer lugar, las áreas específicas de cada delegación o municipio que se encuentran más expuestas a las operaciones aéreas y que podrían enfrentar una situación de desastre aéreo, y en segundo lugar, la definición de un nivel de riesgo en cada una de las unidades espaciales pueden dar la pauta para definir de forma más concreta, en cada una de las demarcaciones políticas, las áreas de mayor riesgo en las que tal vez sería deseable establecer programas de prevención encaminados a saber cómo actuar ante la amenaza de un accidente aéreo y, en caso de ser necesario, establecer un plan de reacción que permita minimizar y manejar los daños que un accidente aéreo pudiera causar en dichas áreas.

Por otro lado, el Gobierno Federal anunció recientemente el proyecto para la construcción de un nuevo aeropuerto que permita cubrir los requerimientos de transporte aéreo de la Ciudad de México y su área metropolitana. Con la aparición de una nueva terminal aérea, las trayectorias y corredores que utilizarían las aeronaves para operar en dicho aeropuerto no serían las mismas a las presentadas en este trabajo y, por lo tanto, las áreas de riesgo ante la eventualidad de un accidente aéreo tampoco serían las mismas.

Sin embargo, un aporte esencial de esta investigación radica en que ayuda a establecer criterios para definir los elementos más representativos de las áreas urbanas que pueden ser más susceptibles a resentir los efectos negativos de un accidente aéreo.

De esta forma, la metodología basada en el análisis espacial desarrollada para definir las áreas de riesgo, que toma en cuenta a los elementos más vulnerables que se puedan asentar en cierto espacio y que se pueden ver afectados como consecuencia de la estrecha relación entre la operación del transporte aéreo y el entorno social de las grandes ciudades, es factible de replicarse y, por lo tanto, ser útil para una nueva posición geográfica de un nuevo aeropuerto en la ZMVM o bien puede aplicarse para cualquier otro aeropuerto del país en donde la dinámica e intensidad de las operaciones aéreas puedan poner en riesgo el entorno sobre el cual se llevan a cabo.

Lo más deseable es que una situación de riesgo en la ZMVM, provocada a consecuencia de un accidente aéreo en la fase de aproximación a las pistas 05 del AICM, no se presente. De hecho, las estadísticas demuestran baja incidencia de accidentes de aviación, sin embargo no está por demás estar conscientes de que situaciones de esta naturaleza pueden ocurrir en cualquier momento, por lo que conocer el espacio que podría verse más afectado por este tipo de contingencia puede ayudar a tomar las medidas necesarias de prevención y mitigación e incluso a establecer los procedimientos operativos que contemplen los mecanismos de respuesta que autoridades y sociedad en su conjunto pueden poner en práctica para enfrentar este tipo de desastres.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aneas de Castro, Susana D. 2000. *Riesgos y peligros: una visión desde la geografía*. Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. No. 16, p 37-45.
- Boeing. 2012. *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operation 1959-2011*. Seattle, Washington.
- Bosque Sendra, J. 2004. *Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la comunidad de Madrid*. GeoFocus. No. 4, p 44-78.
- Cardona Arboleda, Omar Darío. 2001. *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2001. *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*. México.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2006. *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. México.
- Diario Oficial de la Federación. 1943. *Acuerdo que declara lugares de entrada y salida al país, para servicios de transporte aéreo internacional, los aeropuertos de México, D.F., Mérida, Yuc., Tapachula, Chis., Nuevo Laredo, Tam., y Hermosillo, Son.* México. 8 de julio de 1943.
- Diario Oficial de la Federación. 1990. *Programa Nacional de Desarrollo Urbano 1990 – 1994*. México. 14 de agosto de 1990.
- Diario Oficial de la Federación. 2011. *Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY – NOM – 034 – SCT – 2010. Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas*. México. 16 de febrero de 2011.
- Diario Oficial de la Federación. 2013. *Declaratoria de saturación en el campo aéreo del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México Benito Juárez en los horarios que se indican*. México. 17 de abril de 2013.
- Díaz de Guzmán, Rosario (coordinadora). 2003. *Aeropuertos: historia de la construcción, operación y administración aeroportuaria en México*. S.C.T.: Aeropuertos y Servicios Auxiliares; IPN. México.
- Díaz Muñoz, Ma. De los Ángeles. 2002. *El análisis de la vulnerabilidad en la cartografía de riesgos tecnológicos. Algunas cuestiones conceptuales y metodológicas*. Serie geográfica No. 10, p 27-41.
- Dirección General de Aeronáutica Civil. 2012. *La aviación mexicana en cifras 1991-2011*. SCT. México.

- Fernández, María Augusta (compiladora). 1996. *Ciudades en riesgo. Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Galindez López, Demetrio. 2007. *Sistema Metropolitano de Aeropuertos: Quimera o realidad*. *Conversus*, 64: 36-43.
- Garza Villareal, Gustavo (coordinador). 2000. *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*. El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano. Gobierno del Distrito Federal.
- Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México. 2007. *Estadísticas del aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Año 2006*. AICM.
- Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México. 2008. *Estadísticas del aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Año 2007*. AICM.
- Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México. 2009. *Estadísticas del aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Año 2008*. AICM.
- Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México. 2010. *Estadísticas del aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Año 2009*. AICM.
- Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México. 2011. *Estadísticas del aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Año 2010*. AICM.
- Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México. 2011. *Breve historia del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México*. Dirección General. Gerencia de Comunicación Social. AICM.
- Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México. 2012. *Estadísticas del aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Año 2011*. AICM.
- Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México. 2013. *Estadísticas del aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Año 2012*. AICM.
- Hermosillo Plascencia, María de Lourdes. 1998. *Niveles de asimilación económica del estado de Guanajuato*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- Herrera García, Alfonso. 2001. *Simulación de operaciones aeroportuarias. El caso de despegues y aterrizajes en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México*. Publicación Técnica No. 180. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro. México.
- Herrera García, Alfonso. 2005. *Diagnóstico del transporte de carga aérea en México*. Publicación Técnica No. 273. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro. México.
- Herrera García, Alfonso. 2008. *Una introducción a los esquemas de investigación de accidentes aéreos*. Publicación Técnica No. 318. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro. México.
- Herrera García, Alfonso. 2012. *Modelo de simulación de operaciones aéreas en aeropuertos saturados. El caso del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México*. Publicación Técnica No. 365. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro. México.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011a. *Censo de Población y Vivienda 2010*. INEGI. Aguascalientes. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011b. *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Documento metodológico*. INEGI. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011c. *Encuesta Anual de Transportes 2011: Datos 2010*. INEGI. Aguascalientes. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011d. *Sistema para la Consulta de Información Censal 2010 (SCINCE)*. INEGI. México.
- International Civil Aviation Organization. 2000. *Manual of aircraft accident and incident investigation. Part 1. Organization and planning*. ICAO. Montreal, Canada.
- International Civil Aviation Organization. 2003. *Human factors guidelines for aircraft maintenance manual*. ICAO. Montreal, Canada.
- International Civil Aviation Organization. 2005. *ICAO Accident prevention programme*. ICAO. Montreal, Canada.
- International Civil Aviation Organization. 2012. *Phase of flight. Definitions and usage notes*. ICAO. Montreal, Canada.
- Jáuregui, Ernesto. 2000. *Clima en Garza Villareal*, Gustavo (coordinador). *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*. El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano. Gobierno del Distrito Federal.
- Lira O., Enrique. 2002. *Aniversario AICM*. Revista América Vuela No. 82 Noviembre – Diciembre.
- Maskrey, Andrew. 1998. *Navegando entre brumas. La aplicación de los sistemas de información geográfica el análisis de riesgo en América Latina*. Red de Estudios Sociales en prevención de Desastres en América Latina. Perú.
- Organización de Aviación Civil Internacional. 1987. *Manual de planificación de aeropuertos. Parte 1. Planificación general*. OACI. Montreal, Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional. 2001. *Anexo 13: investigación de accidentes e incidentes de aviación*. OACI. Montreal, Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional. 2006. *Manual de diseño de aeródromos. Parte 1. Pistas*. OACI. Montreal, Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional. 2006. *Operación de aeronaves. Volumen II. Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos*. OACI. Montreal, Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional. 2008. *Riesgos en los lugares de accidentes de aviación*. OACI. Montreal, Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional. 2009. *Anexo 14. Aeródromos. Volumen 1. Diseño y operaciones de aeródromos*. OACI. Montreal, Canadá.

- Organización de Aviación Civil Internacional. 2012. *Situación de la seguridad operacional de la aviación mundial en 2011*. OACI. Montreal, Canadá.
- Propín Frejomil, Enrique y Sánchez Crispín, Álvaro. 1996. *Niveles de asimilación económica del estado de Guerrero. Alternativas, demografía y sociedad en Guerrero*. CIESAS. México.
- Rico Galeana, Óscar. 2010. *Situación actual de los sistemas de transporte aéreo de carga en México*. Publicación Técnica No. 334. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro. México.
- Sánchez Almanza, Adolfo. 2004. *Panorama histórico de la Ciudad de México*. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 1998. *20 años. Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano 1978 - 1998*. SCT. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Estadística operacional de aeropuertos*. Disponible en: <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/estadisticas/estadistica-operacional-de-aeropuertos-airports-operational-statistics/>. Consultado 19 de marzo 2013.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2011. *Manual estadístico del sector transporte 2011*. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2012. *Publicación de Información Aeronáutica*. SCT. México.
- Secretaría de Desarrollo Social. 2007. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*. SEDESOL. México.
- Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano. 2002. *Manual de términos aeronáuticos*. SENEAM, SCT. México.
- Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano. 2012a. Aproximación ILS pista 05R. dimensión de áreas de protección de obstáculos. SENEAM
- Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano. 2012b. *Informe de frustradas 2011*. SENEAM. Jefatura Torre de Control México.
- Valdés González, Carlos, Ramos Jiménez, Esteban. 2001. *Manejo de cenizas en otros aeropuertos y aerovías del mundo en CENAPRED Las cenizas volcánicas del Popocatepetl y sus efectos para la aeronavegación e infraestructura aeroportuaria*. México.

Sitios de internet:

- <http://www.aplicaciones.esimetic.ipn.mx/pag1/avi-mex.htm>
- <http://www.airbus.com/aircraftfamilies>
- <http://www.airliners.net>

- http://www.boeing.com/Boeing/commercial/airports/plan_manual.pages
- http://www.atraircraft.com/products/atr_4_500.html
- <http://ciudadanosenred.com.mx/sistema-de-informacion-geograficasig-metropoli-2025/>
- <http://www.embraercommercialjets.com>
- <http://www.gulfstream.com/products>
- <http://s217.photobucket.com/user/ricreig/media/aicm2.jpg.html>
- <http://s217.photobucket.com/user/ricreig/media/aicm62.jpg.html>