



OACI

Organización de Aviación Civil Internacional  
Oficina para Norteamérica, Centroamérica y Caribe

NOTA DE INFORMACIÓN

GTE/20 — NI/03  
03/11/20

**Vigésima Reunión del Grupo de Trabajo de Escrutinio (GTE/20) del Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS)**  
En línea, 9 – 11 de noviembre de 2020

**Cuestión 2 del  
Orden del Día:**

**Revisión de los resultados del análisis de Grandes Desviaciones de Altitud (LHD)  
2.3 Resultados del proyecto de evaluación de la seguridad operacional en  
el espacio aéreo de RVSM para las Regiones CAR y SAM**

**INFORME DE SEGUIMIENTO DE SEGURIDAD VERTICAL DEL ESPACIO AÉREO DE MÉXICO – 2019**

(Presentada por Estados Unidos)

**RESUMEN EJECUTIVO**

Esta Nota de Información proporciona el informe de monitoreo de seguridad vertical para el uso continuo y seguro del mínimo de separación vertical reducida (RVSM) en el espacio aéreo de México. La evaluación de la seguridad se ha realizado de acuerdo con la metodología respaldada por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Este trabajo utiliza informes de grandes desviaciones de altitud (LHD) y datos de muestras de tráfico (TSD) proporcionados por México a la NAARMO para el año calendario 2019.

El propósito de este informe es comparar el desempeño real con los objetivos de seguridad operacional relacionados con el uso continuo de la RVSM en el espacio aéreo de México. Este informe contiene un resumen de los informes de grandes desviaciones de altitud recibidos por la NAARMO para el año calendario 2019. Hay cincuenta (50) grandes desviaciones de altura reportadas en el año calendario 2019 para el espacio aéreo de México. Este informe también contiene una estimación del riesgo de colisión vertical. La estimación del riesgo de colisión vertical para el espacio aéreo de México cumple con el valor del nivel objetivo de seguridad (TLS) de  $5.0 \times 10^{-9}$  accidentes fatales por hora de vuelo.

<i>Objetivos Estratégicos:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Seguridad Operacional</li></ul>
<i>Referencias:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Informes de grandes desviaciones de altitud (LHD) en 2019</li><li>• Datos de muestra de tráfico de México de diciembre de 2019 (TSD)</li><li>• Sistema de gestión de flujo de tráfico de la FAA (TFMS)</li><li>• Doc 9574 de la OACI</li><li>• Doc 9937 de la OACI</li></ul>

## 1. Introducción

1.1. La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC México) implementó el Mínimo de Separación Vertical Reducida (RVSM) entre el nivel de vuelo 290 y el nivel de vuelo 410, inclusive, en todo el espacio aéreo soberano y delegado de México el 20 de enero de 2005. De mutuo acuerdo, junto con México, Canadá y Estados Unidos, los Estados Trilaterales de Aviación de América del Norte, implementaron la RVSM simultáneamente en la misma fecha en todo el espacio aéreo de América del Norte.

1.2. La Organización de Monitoreo y Registro de Aprobaciones de América del Norte (NAARMO), un servicio proporcionado por el Centro Técnico de la FAA, cumple el rol de agencia de monitoreo regional (RMA) para el uso continuo y seguro de la RVSM en el espacio aéreo de América del Norte.

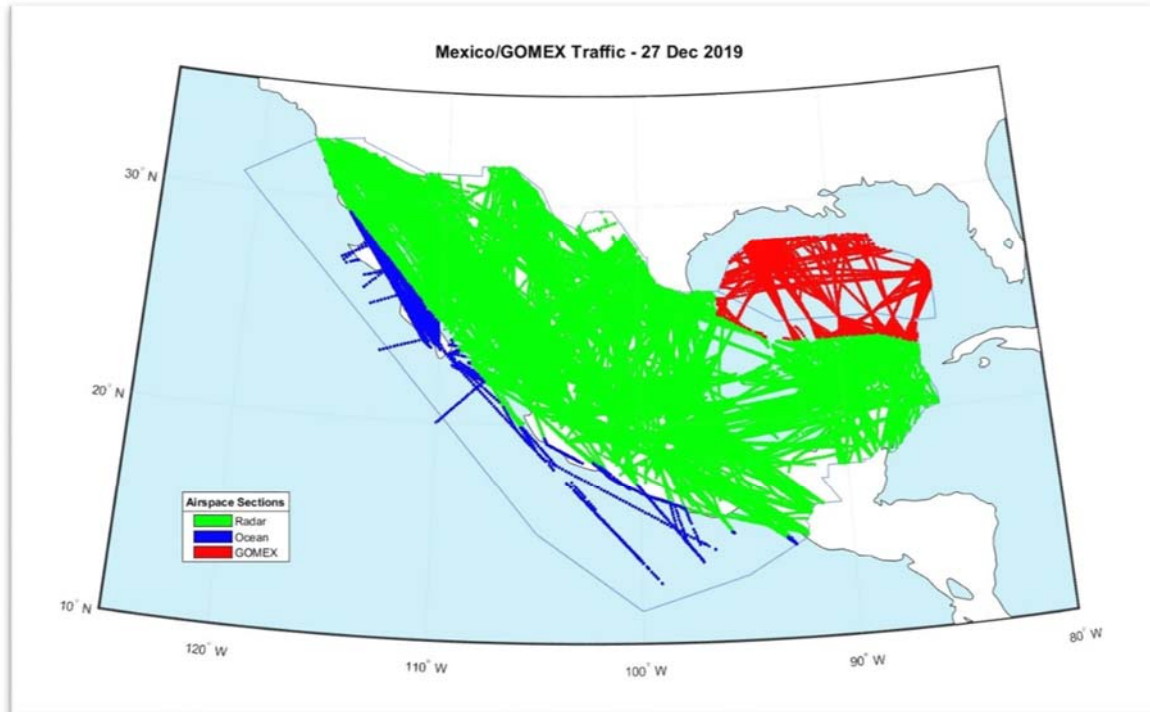
1.3. Este informe cubre el año calendario 2019. Dentro de este informe, el lector encontrará un resumen de los informes de grandes desviaciones de altitud (LHD) recibidos por la NAARMO y la estimación del riesgo de colisión vertical correspondiente. Se aplicó una nueva metodología a los datos de tráfico de 2019 que considera las diferencias en los volúmenes y patrones de tráfico. La estimación de riesgo vertical resultante incluye partes del Golfo de México (GOMEX), el espacio aéreo nacional de México y el espacio aéreo costa afuera/oceánico de México.

## 2. Datos de muestra de tráfico

2.1. La NAARMO recibió una muestra de datos de tráfico (TSD) de diciembre de 2019 para el espacio aéreo de México. Estos datos incluyeron observaciones de vuelo de cuatro centros de control aéreo (ACC): México (MMEX), Monterrey (MMTY), Mazatlán (MMZT) y Mérida (MMID). La información proporcionada para cada operación de vuelo incluye la fecha, el distintivo de llamada de la aeronave, la marca de registro de la aeronave, el tipo de aeronave, el aeropuerto de origen, el aeropuerto de destino y la información de la posición de la aeronave.

2.2. Además del TSD recibido de los cuatro ACC, la NAARMO tiene acceso al Sistema de Gestión de Flujo de Tráfico (TFMS) de la Administración Federal de Aviación (FAA), que incluye observaciones de aeronaves en el espacio aéreo de México. Cada registro de movimiento de tráfico dentro de la muestra de datos TFMS contiene la fecha, hora, latitud, longitud, nivel de vuelo, identificación de vuelo de la aeronave, tipo de aeronave, aeropuerto de origen y aeropuerto de destino. Los datos TFMS contienen estimaciones de posición frecuentes para cada vuelo; se proporciona una estimación de posición aproximadamente una vez por minuto. La **Figura 2-1** presenta las posiciones de las aeronaves proporcionadas en los datos TFMS para el 27 de diciembre de 2019.

2.3. Los diferentes colores que se muestran en la Figura 2-1 representan secciones de flujo de tráfico de las operaciones observadas en los datos TFMS. Las posiciones de las aeronaves observadas se colocan en uno de los tres flujos de tráfico. Partes de una operación de vuelo individual pueden aparecer en múltiples flujos de tráfico.



**Figura 2-1.** Datos de posición de aeronaves proporcionados en TFMS - 27 de diciembre de 2019

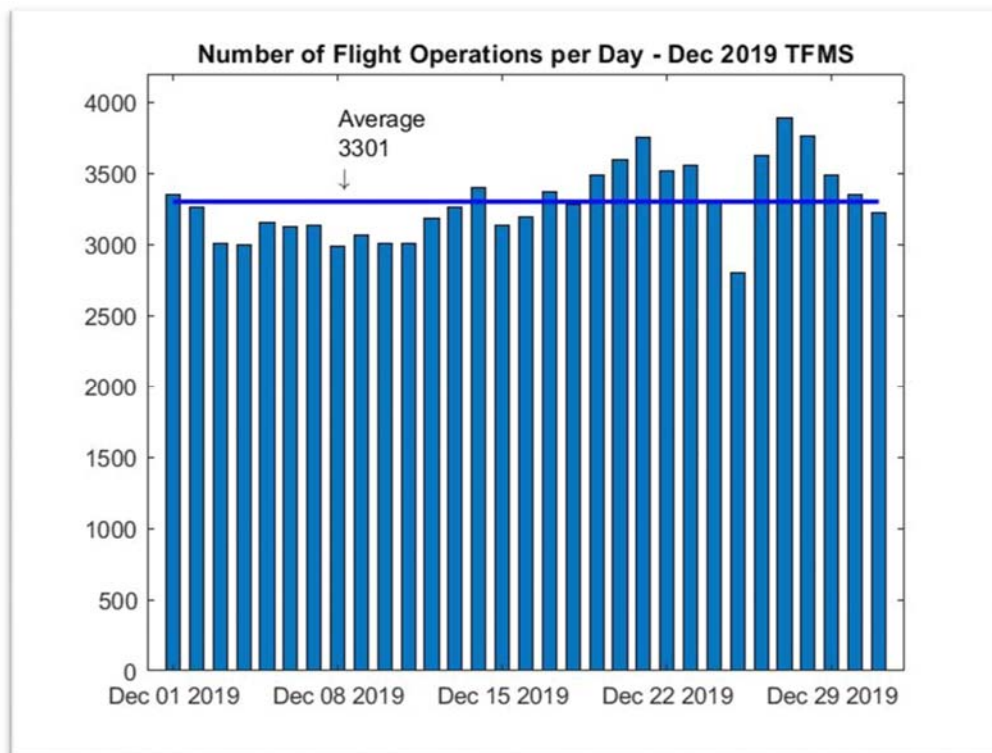
2.4 Los tres flujos de tráfico se basan en el volumen y los patrones de tráfico. Los tres flujos de tráfico incluyen una porción del Golfo de México (GOMEX), el espacio aéreo de México costa afuera/oceánico y el espacio aéreo interno de México. Estos tres flujos de tráfico se describen a continuación.

2.5 La porción del espacio aéreo de GOMEX considerada en este análisis incluye segmentos de vuelo que cruzan el límite de CTA/FIR de Houston Oceanic - FIR/CTA de México sobre el Golfo de México. En la Figura 2-1, estas son las operaciones que se muestran en color **rojo**.

2.6 El espacio aéreo costa afuera/oceánico de México se refiere al tráfico aéreo observado sobre el Océano Pacífico donde la vigilancia por radar puede no estar disponible. En la Figura 2-1, estas operaciones se muestran en color **azul**.

2.7 El espacio aéreo nacional de México incluye todas las operaciones de aeronaves que no se consideran GOMEX ni espacio aéreo oceánico. La vigilancia por radar está disponible en el espacio aéreo nacional; en la Figura 2-1, estas posiciones de las aeronaves se muestran en color **verde**.

2.8 La **Figura 2-2** muestra el número de vuelos por día en los datos del TFMS para diciembre de 2019. La línea azul horizontal representa el número promedio de operaciones de vuelo por día observado en la muestra de datos. El número medio de operaciones de vuelo por día observado en los datos del TFMS es de 3.301 vuelos por día. Este valor es ligeramente superior al observado en los datos de 2018; La **Tabla 2-1** muestra la tendencia. El aumento observado en 2019 se puede atribuir a la inclusión de las operaciones dentro de Houston Oceanic CTA/FIR.



**Figura 2-2.** Número de operaciones de vuelo observadas por día - TFMS Diciembre de 2019

**Tabla 2-1.** Número promedio de operaciones de vuelo diarias - Tendencia

Mes-año	Número promedio de operaciones de vuelo diarias
Diciembre de 2015	2,378
Diciembre de 2016	2,508
Diciembre de 2017	2,732
Diciembre de 2018	2,710
Diciembre de 2019	3,301

### 3. Auditoría del espacio aéreo RVSM

3.1. El TSD de diciembre de 2019 recibido de México para los ACC de MMEX, MMTY, MMZT y MMID se utiliza para identificar las operaciones que operan dentro del espacio aéreo RVSM. Estos datos suman aproximadamente 126,700 operaciones en el mes de diciembre de 2019.

3.2. El TSD de diciembre de 2019 para el espacio aéreo de México se comparó con la base de datos de aprobaciones colectivas al 2 de junio de 2020 para determinar el estado de aprobación de cada operación observada. Las operaciones para las que no se encuentra aprobación o una aprobación vencida se identifican para una verificación adicional. La Tabla 3-1 proporciona un resumen de los resultados de la Auditoría del Espacio Aéreo RVSM de México luego del proceso de verificación inicial. Los resultados se enumeran alfabéticamente por estado del operador/registro. Esta lista contiene 179 operaciones civiles no aprobadas de siete Estados diferentes observados dentro del espacio aéreo RVSM en México. Este número de operaciones no aprobadas es similar al número observado en 2018.

3.3. Sesenta y ocho matriculas de aeronaves identificadas como no aprobadas en el TSD de diciembre de 2018 también se observaron como no aprobadas en 2019. Estas sesenta y ocho matriculas de aeronaves observadas como no aprobadas en las muestras de tráfico de 2018 y 2019 están resaltadas en **amarillo** en la **Tabla 3 -1**. Se han observado varios registros de aeronaves una o dos veces en la muestra de tráfico de diciembre de 2019. Las muestras de tráfico más frecuentes, como trimestrales, ayudarían a identificar anomalías en los resultados. La NAARMO sugiere que se proporcionen datos de muestra de tráfico para los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre de cada año calendario con el fin de eliminar posibles anomalías e identificar mejor los registros de aeronaves que presentan "W" en el punto 10 pero que operan sin la aprobación RVSM.

**Tabla 3-1.** Auditoría del espacio aéreo RVSM de México - 2019

Estado operador/registro del	Registro aeronaves de	RMA	Recuento de observaciones de
Canada	CFTUN	NAARMO	2
Ecuador	HCCUH	CARSAMMA	2
<b>Guatemala</b>	<b>TGDAE</b>	<b>CARSAMMA</b>	<b>3</b>
Guatemala	TGRIE	CARSAMMA	2
<b>Mexico</b>	<b>XAAMI</b>	<b>NAARMO</b>	<b>26</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAARB</b>	<b>NAARMO</b>	<b>1</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAARR</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
<b>Mexico</b>	<b>XABNG</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
<b>Mexico</b>	<b>XABZN</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
Mexico	XACDM	NAARMO	2
Mexico	XACHF	NAARMO	2
Mexico	XACRG	NAARMO	5
Mexico	XACYP	NAARMO	4
Mexico	XADAK	NAARMO	10
<b>Mexico</b>	<b>XADHM</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
<b>Mexico</b>	<b>XADIJ</b>	<b>NAARMO</b>	<b>6</b>
<b>Mexico</b>	<b>XADON</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
Mexico	XADRG	NAARMO	9
Mexico	XAECA	NAARMO	62
Mexico	XAEME	NAARMO	45
Mexico	XAFLY	NAARMO	5
<b>Mexico</b>	<b>XAGDQ</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
Mexico	XAGGB	NAARMO	26
Mexico	XAGIN	NAARMO	2
Mexico	XAGTR	NAARMO	2
Mexico	XAGTT	NAARMO	2
<b>Mexico</b>	<b>XAHCR</b>	<b>NAARMO</b>	<b>1</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAHEL</b>	<b>NAARMO</b>	<b>6</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAJAO</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>

Estado del operador/registro	Registro de aeronaves	RMA	Recuento de observaciones
Mexico	XAKAD	NAARMO	8
Mexico	XALON	NAARMO	18
<b>Mexico</b>	<b>XALRM</b>	<b>NAARMO</b>	<b>6</b>
Mexico	XAMAX	NAARMO	4
Mexico	XAMCF	NAARMO	27
Mexico	XAMLO	NAARMO	2
Mexico	XAMLS	NAARMO	4
Mexico	XAMMN	NAARMO	1
Mexico	XAMRA	NAARMO	3
<b>Mexico</b>	<b>XAOFM</b>	<b>NAARMO</b>	<b>12</b>
Mexico	XAOLA	NAARMO	8
<b>Mexico</b>	<b>XAOLI</b>	<b>NAARMO</b>	<b>16</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAOOI</b>	<b>NAARMO</b>	<b>3</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAPMH</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
Mexico	XAPOX	NAARMO	23
<b>Mexico</b>	<b>XAQLO</b>	<b>NAARMO</b>	<b>1</b>
Mexico	XAQPL	NAARMO	2
<b>Mexico</b>	<b>XARAB</b>	<b>NAARMO</b>	<b>3</b>
Mexico	XARAY	NAARMO	1
<b>Mexico</b>	<b>XARED</b>	<b>NAARMO</b>	<b>4</b>
<b>Mexico</b>	<b>XARFB</b>	<b>NAARMO</b>	<b>5</b>
Mexico	XARIU	NAARMO	2
<b>Mexico</b>	<b>XARJT</b>	<b>NAARMO</b>	<b>29</b>
<b>Mexico</b>	<b>XASOF</b>	<b>NAARMO</b>	<b>14</b>
<b>Mexico</b>	<b>XASRD</b>	<b>NAARMO</b>	<b>4</b>
<b>Mexico</b>	<b>XASSE</b>	<b>NAARMO</b>	<b>24</b>
Mexico	XASUS	NAARMO	1
Mexico	XATAP	NAARMO	2
<b>Mexico</b>	<b>XAUBI</b>	<b>NAARMO</b>	<b>1</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAUFF</b>	<b>NAARMO</b>	<b>11</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAUSF</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAUWF</b>	<b>NAARMO</b>	<b>24</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAUZF</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
Mexico	XAVBC	NAARMO	4
<b>Mexico</b>	<b>XAVCM</b>	<b>NAARMO</b>	<b>17</b>
Mexico	XAVCY	NAARMO	24
Mexico	XAVDA	NAARMO	6
Mexico	XAVDF	NAARMO	4
Mexico	XAVDK	NAARMO	5

Estado del operador/registro	Registro de aeronaves	RMA	Recuento de observaciones
Mexico	XAVDL	NAARMO	8
Mexico	XAVDP	NAARMO	3
Mexico	XAVDT	NAARMO	3
Mexico	XAVDU	NAARMO	42
Mexico	XAVFJ	NAARMO	1
Mexico	XAWSJ	NAARMO	2
<b>Mexico</b>	<b>XAXTR</b>	<b>NAARMO</b>	<b>11</b>
<b>Mexico</b>	<b>XAYCC</b>	<b>NAARMO</b>	<b>12</b>
Mexico	XAZAP	NAARMO	1
Mexico	XBAAG	NAARMO	5
Mexico	XBABD	NAARMO	2
Mexico	XBACS	NAARMO	2
Mexico	XBAJA	NAARMO	1
Mexico	XBBPS	NAARMO	2
<b>Mexico</b>	<b>XBCAF</b>	<b>NAARMO</b>	<b>6</b>
Mexico	XBCCG	NAARMO	2
<b>Mexico</b>	<b>XBCRL</b>	<b>NAARMO</b>	<b>7</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBDGA</b>	<b>NAARMO</b>	<b>7</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBFCR</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
Mexico	XBFFF	NAARMO	6
Mexico	XBFIR	NAARMO	10
Mexico	XBGDJ	NAARMO	11
Mexico	XBGTT	NAARMO	2
Mexico	XBIXT	NAARMO	1
<b>Mexico</b>	<b>XBJHV</b>	<b>NAARMO</b>	<b>1</b>
Mexico	XBJJS	NAARMO	1
Mexico	XBJSC	NAARMO	4
<b>Mexico</b>	<b>XBJTG</b>	<b>NAARMO</b>	<b>1</b>
Mexico	XBKWN	NAARMO	6
<b>Mexico</b>	<b>XBMNV</b>	<b>NAARMO</b>	<b>4</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBMSZ</b>	<b>NAARMO</b>	<b>3</b>
Mexico	XBMXK	NAARMO	2
Mexico	XBMYO	NAARMO	3
Mexico	XBNNA	NAARMO	1
<b>Mexico</b>	<b>XBNPF</b>	<b>NAARMO</b>	<b>24</b>
Mexico	XBNRX	NAARMO	1
<b>Mexico</b>	<b>XBNVE</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBNVN</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBNXX</b>	<b>NAARMO</b>	<b>9</b>

Estado del operador/registro	Registro de aeronaves	RMA	Recuento de observaciones
<b>Mexico</b>	<b>XBNZS</b>	<b>NAARMO</b>	<b>13</b>
Mexico	XBOAP	NAARMO	7
<b>Mexico</b>	<b>XBODW</b>	<b>NAARMO</b>	<b>13</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBOTZ</b>	<b>NAARMO</b>	<b>3</b>
Mexico	XBOYM	NAARMO	1
Mexico	XBOZA	NAARMO	4
Mexico	XBOZH	NAARMO	4
<b>Mexico</b>	<b>XBPEB</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBPGP</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBPGQ</b>	<b>NAARMO</b>	<b>3</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBPGY</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBPHP</b>	<b>NAARMO</b>	<b>4</b>
<b>Mexico</b>	<b>XBPNB</b>	<b>NAARMO</b>	<b>5</b>
Mexico	XBPNK	NAARMO	1
Mexico	XBPNQ	NAARMO	1
Mexico	XPVVI	NAARMO	2
Mexico	XPVVL	NAARMO	3
Mexico	XPVYV	NAARMO	5
Mexico	XPVYY	NAARMO	4
<b>Mexico</b>	<b>XBRAY</b>	<b>NAARMO</b>	<b>9</b>
Mexico	XBRBV	NAARMO	1
<b>Mexico</b>	<b>XBRGB</b>	<b>NAARMO</b>	<b>6</b>
Mexico	XBRJT	NAARMO	2
<b>Mexico</b>	<b>XBRSC</b>	<b>NAARMO</b>	<b>2</b>
Mexico	XBRUA	NAARMO	3
Mexico	XBSGT	NAARMO	4
Mexico	XBUAD	NAARMO	2
Mexico	XBULG	NAARMO	1
Mexico	XBUNA	NAARMO	2
Mexico	XBUOC	NAARMO	25
Mexico	XBVDA	NAARMO	1
<b>Mexico</b>	<b>XBVFJ</b>	<b>NAARMO</b>	<b>4</b>
Mexico	XBVSA	NAARMO	6
<b>Mexico</b>	<b>XBVXS</b>	<b>NAARMO</b>	<b>6</b>
<b>Mexico</b>	<b>XCBJG</b>	<b>NAARMO</b>	<b>28</b>
Panama	HP1376	CARSAMMA	2
Panama	HP1810DAE	CARSAMMA	5
Panama	HP1910DAE	CARSAMMA	8
Panama	HP2010DAE	CARSAMMA	8



Estado del operador/registro	Registro de aeronaves	RMA	Recuento de observaciones
Panama	HP2110DAE	CARSAMMA	8
Panama	HP3010	CARSAMMA	1
United States	N101CT	NAARMO	3
United States	N15VC	NAARMO	2
United States	N16KB	NAARMO	5
United States	N228MD	NAARMO	7
<b>United States</b>	<b>N269RC</b>	<b>NAARMO</b>	<b>1</b>
United States	N2700	NAARMO	1
<b>United States</b>	<b>N31YA</b>	<b>NAARMO</b>	<b>4</b>
United States	N339AV	NAARMO	4
<b>United States</b>	<b>N375TC</b>	<b>NAARMO</b>	<b>33</b>
United States	N38EA	NAARMO	1
<b>United States</b>	<b>N397MG</b>	<b>NAARMO</b>	<b>4</b>
<b>United States</b>	<b>N43AG</b>	<b>NAARMO</b>	<b>4</b>
United States	N450BD	NAARMO	1
United States	N468HW	NAARMO	2
United States	N518RC	NAARMO	4
United States	N530RA	NAARMO	1
United States	N580BD	NAARMO	3
United States	N600EA	NAARMO	1
United States	N63FX	NAARMO	2
United States	N717LF	NAARMO	2
United States	N717MT	NAARMO	3
United States	N740TT	NAARMO	2
<b>United States</b>	<b>N800CJ</b>	<b>NAARMO</b>	<b>4</b>
United States	N834MM	NAARMO	11
United States	N902AU	NAARMO	2
United States	N960AA	NAARMO	1
United States	N973EM	NAARMO	23
<b>United States</b>	<b>N994EA</b>	<b>NAARMO</b>	<b>8</b>
Venezuela	YV2716	CARSAMMA	2
Venezuela	YV3052	CARSAMMA	2
Venezuela	YV3071	CARSAMMA	1

#### 4. Desviaciones de gran altitud informadas (LHD)

4.1 La NAARMO recibe informes LHD mensuales para el espacio aéreo de México y GOMEX. Hubo cincuenta y seis LHD reportados durante el año calendario 2019. Este total incluye cinco LHD reportados de Houston CTA/FIR. Después de la revisión del grupo de escrutinio, se determinó que veintiocho de los cincuenta y seis LHD reportados eran riesgosos. La **Tabla 4-1** contiene un resumen de

todos los LHD informados calificados por mes. La última fila de la Tabla 4-1 muestra que hubo 33.5 minutos de tiempo de vuelo en niveles de vuelo inesperados/incorrectos y dieciséis niveles de vuelo cruzados sin autorización/incorrectamente.

**Tabla 4-1.** LHD reportados calificados para México y el espacio aéreo de GOMEX - 2019

Mes	Conteo	Duración en FL incorrecto	Número de FLs cruzados
Enero de 2019	0	0	0
Febrero de 2019	6	8.5	2
Marzo de 2019	3	2.5	0
Abril de 2019	3	4.0	5
Mayo de 2019	3	12.5	0
Junio de 2019	4	1.0	9
Julio de 2019	2	0.5	0
Agosto de 2019	1	0	0
Septiembre de 2019	0	0	0
Octubre de 2019	3	2.5	0
Noviembre de 2019	2	1.0	0
Diciembre de 2019	1	1.0	0
<b>Total 2019</b>	<b>28</b>	<b>33.5</b>	<b>16</b>

4.2 Un evento de LHD con una duración de veinte minutos o más se considera un evento de larga duración. No hubo eventos de LHD de larga duración en 2019. En 2018, se informaron tres LHD de larga duración.

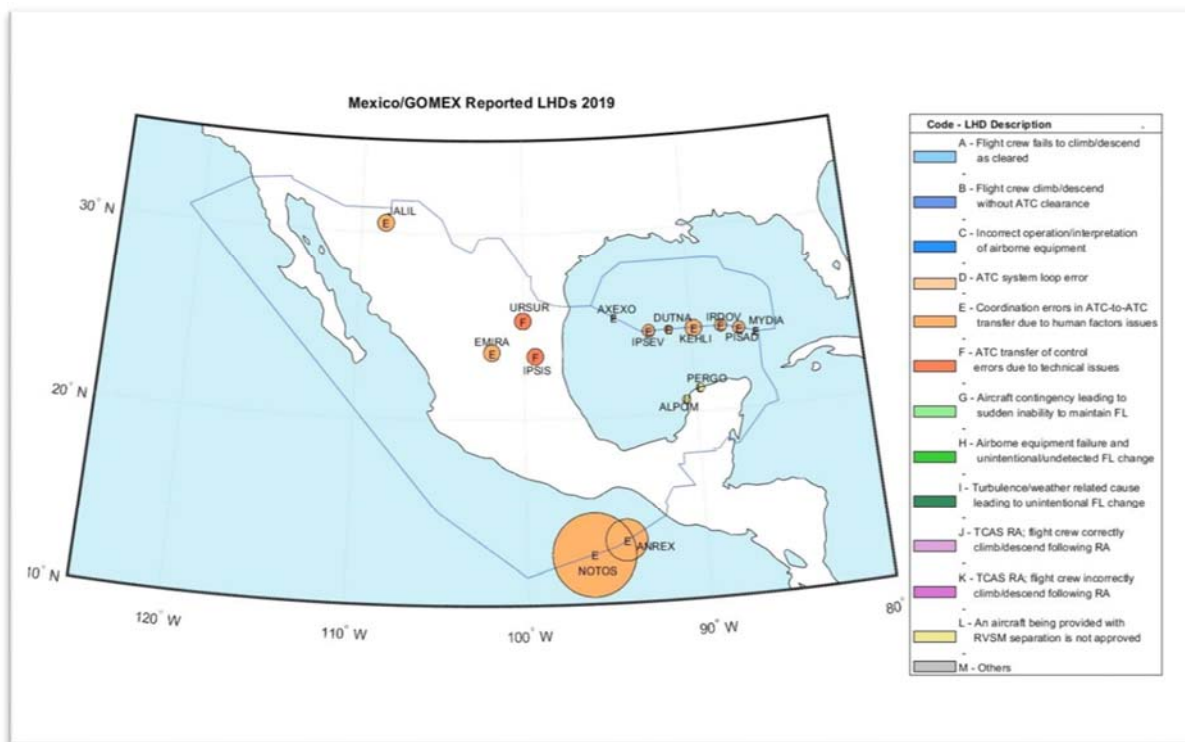
4.3 La revisión de escrutinio determinó la causa de cada uno de los veintiocho informes LHD calificados en 2019. Veintiuno de los informes LHD calificados involucran errores de coordinación en la transferencia ATC (categorías LHD E y F). La **Tabla 4-2** resume los informes de LHD calificados por causa.

**Tabla 4-2.** Informes LHD calificados por causa - 2019

Código de categoría LHD	Descripción de la categoría LHD	Número de LHD	Duración en FL incorrecto	Número de FLs cruzados
<b>C</b>	Operación o interpretación incorrecta de equipos aéreos	3	0	9
<b>D</b>	Error de bucle ATC	1	0	2
<b>E</b>	Errores de coordinación en la transferencia ATC-a-ATC de la responsabilidad de control como resultado de problemas de factores humanos	19	27.5	0
<b>F</b>	Errores de coordinación en la transferencia de responsabilidad de control de ATC a ATC como resultado de una interrupción o problemas técnicos	2	4	0
<b>G</b>	Evento de contingencia de la aeronave que conduce a una incapacidad repentina para mantener el nivel de vuelo asignado (por ejemplo, falla de presurización, falla del motor)	1	0	5

Código de categoría LHD	Descripción de la categoría LHD	Número de LHD	Duración en FL incorrecto	Número de FLs cruzados
L	Una aeronave que se le proporciona separación RVSM no está aprobada RVSM	2	2	0
	<b>TOTALES</b>	<b>28</b>	<b>33.5</b>	<b>16</b>

4.4 La **Figura 4-1** muestra las ubicaciones aproximadas de las aeronaves para los veintiocho LHD informados calificados en 2019.



**Figura 4-1.** Informes LHD calificados - 2019

4.5 Los LHD notificados se resumen en los flujos de tráfico descritos en el párrafo 2.4. Los tres flujos de tráfico identificados incluyen el espacio aéreo nacional de GOMEX, costa afuera/oceánico y de México.

#### 4.6 *Espacio aéreo GOMEX*

4.6.1. La NAARMO organizó teleconferencias de escrutinio entre el ATC de México y el ATC de Houston para revisar los eventos informados durante 2019. Hubo quince LHD reportados para el flujo de tráfico de GOMEX en 2019. Catorce de los LHD reportados involucraron LHD de categoría E. La actual Carta de Acuerdo (LOA) para la transferencia de operaciones de aeronaves entre México y Estados Unidos requiere coordinación verbal en espacio aéreo no radar. Cuando los datos de vigilancia dependiente automática - transmisión (ADS-B) estén disponibles en las instalaciones ATC de Estados Unidos y México, la LOA puede cambiar para permitir transferencias automáticas. La norma ADS-B de Estados Unidos entró en vigencia en enero de 2020; México indicó que se espera el mandato ADS-B durante el año calendario 2021.

4.6.2 Los catorce LHD reportados de categoría E en 2019 fueron un aumento con respecto a los tres LHD reportados de categoría E en 2018 en el espacio aéreo GOMEX. La razón de este aumento se dio por una mejoría en informar eventos durante 2019. Algunas incidencias en la primera parte de 2019 provocaron más informes y cambios en la capacitación para ATC.

#### 4.7 *Espacio aéreo costa afuera/oceánico*

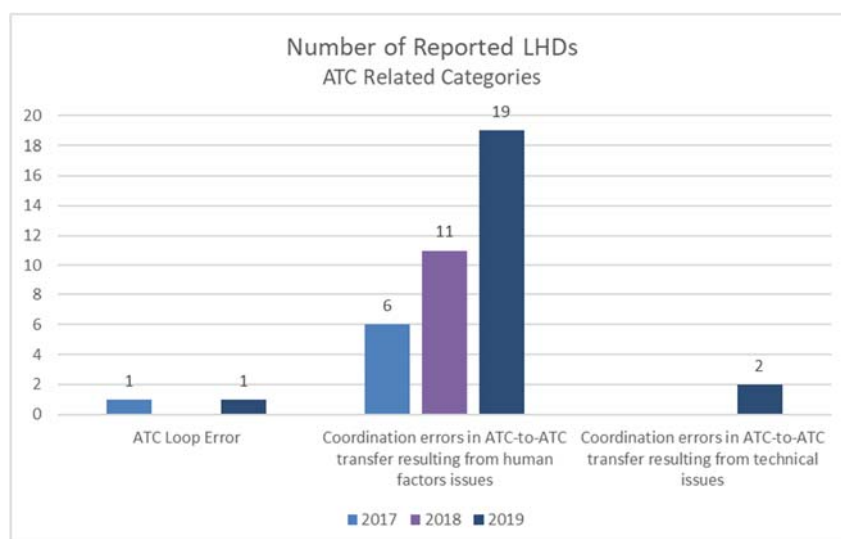
4.7.1 Hubo tres LHD de categoría E reportados dentro del flujo de tráfico oceánico en 2019. Esto fue un aumento con respecto al LHD de categoría E reportado en 2018. Los errores en la transferencia de responsabilidad de control del ATC involucran a la FIR de México y la FIR de Centroamérica para los LHD reportados. La duración total asociada con los informes de 2019 es de quince minutos, que es inferior a los veintiséis minutos informados en 2018.

#### 4.8 *Espacio Aéreo Nacional de México*

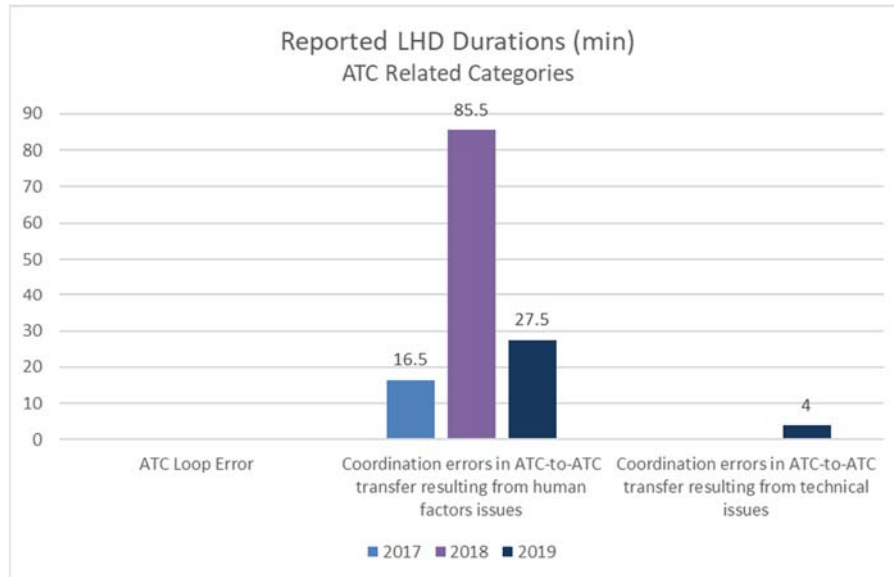
4.8.1 Se reportaron siete LHD para el espacio aéreo de México en 2019. Cuatro de estos LHD reportados involucraron errores en la transferencia ATC de responsabilidad de control entre FIR adyacentes clasificados como categoría E y F. La duración total asociada con los LHD de categoría E y F fue de ocho minutos.

4.8.2 Uno de los LHD reportados involucra un evento de contingencia (categoría G) con el piloto reportando falla del “Pitot tube” y descendiendo a través de cinco niveles de vuelo sin autorización. Los dos LHD restantes implican una falla del piloto automático que hace que la operación de la aeronave ya no sea elegible para RVSM (categoría L), cada uno de estos informes tiene una duración de un minuto.

4.9 La **Figura 4-2** muestra la tendencia observada en el número de LHD reportados relacionados con causas ATC desde 2017 hasta 2019. Los datos muestran un aumento general en el número de LHD reportados debido a causas ATC. La **Figura 4-3** muestra la tendencia observada en las duraciones de LHD informadas relacionadas con las causas del ATC de 2017 a 2019. Estos datos muestran una disminución en las duraciones de LHD informadas relacionadas con las causas de ATC.



**Figura 4-2.** Tendencia observada en el número de LHD notificados: causas relacionadas con el ATC



**Figura 4-3.** Tendencia observada en la duración de los LHD informados: causas relacionadas con el ATC

#### 4.10 *Informes de fallas de comunicación*

4.10.1 Se notificaron veintiocho incidentes que especificaban fallas de comunicación entre el ATC y la aeronave durante un período de tiempo. No hubo indicios de desviación del piloto de la ruta autorizada o de la altitud durante el período de falla de comunicación. Debido a que no hubo indicios de desviación de la ruta o la altitud autorizadas, no hay contribución a la estimación del riesgo de colisión vertical.

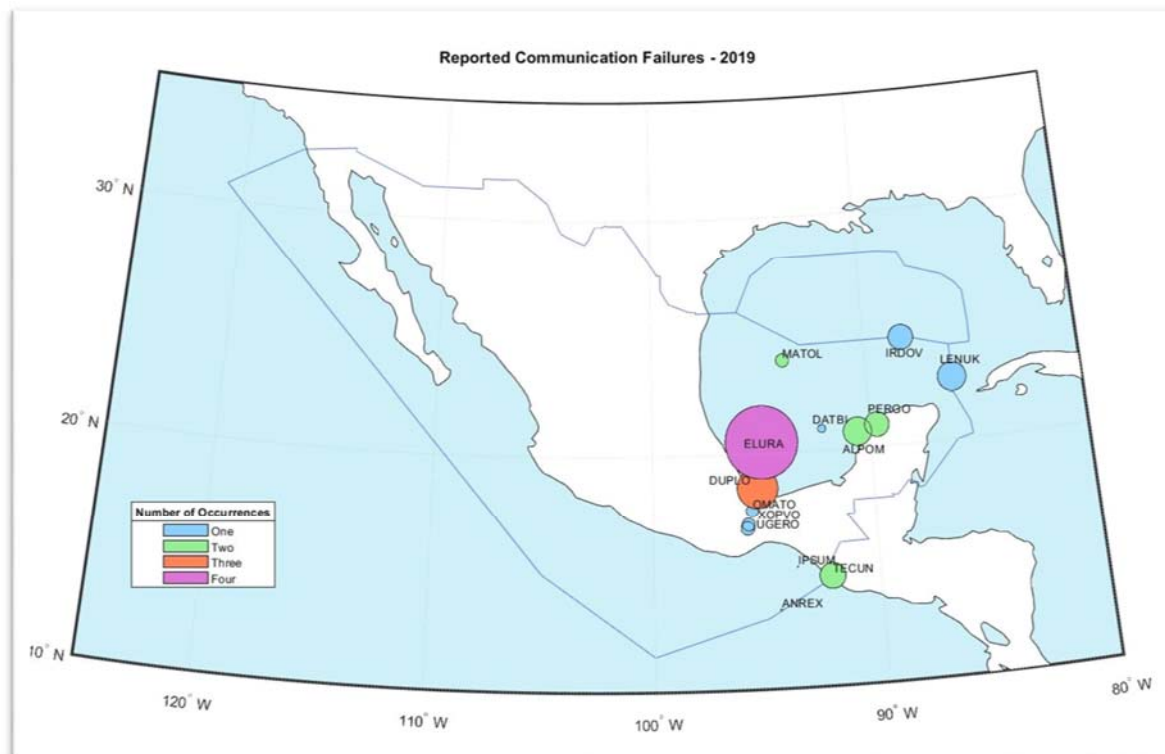
4.10.2 La tendencia en el número de informes de fallas de comunicación ha disminuido. Durante los años calendario anteriores 2018, 2017 y 2016, hubo 58, 27 y 15 informes de este tipo, respectivamente.

4.10.3 En el año calendario 2017, los veintisiete informes de fallas de comunicación representaron 805 minutos en los que el ATC no pudo comunicarse con una aeronave. En el año calendario 2018, los cincuenta y ocho informes de fallas de comunicación representaron 1,587 minutos en los que ATC no pudo comunicarse con una aeronave. En el año calendario 2019, los veintiocho informes de fallas de comunicación representaron 842 minutos en los que el ATC no pudo comunicarse con una aeronave.

4.10.4 Las dos ubicaciones principales, en términos de duración de la falla de comunicación, son los puntos de espacio aéreo ELURA y DUPLO. El punto del espacio aéreo ELURA fue la mejor ubicación en términos de duración en 2018 y 2017.

4.10.5 Hubo cuatro informes de fallas de comunicación cerca del punto de referencia de espacio aéreo ELURA, lo que representa 173 minutos de ATC incapaz de comunicarse con una aeronave. Esto representa una disminución tanto en el número de informes como en la duración asociada. En 2018, hubo catorce informes de fallas de comunicación cerca de ELURA que representan 416 minutos de ATC incapaces de comunicarse con una aeronave. La **Figura 4-4** proporciona la ubicación general de todos los informes de fallas de comunicación notificados. El tamaño del icono refleja la duración total de las fallas

de comunicación informadas en la ubicación del punto del espacio aéreo. El color del círculo en la Figura 4-4 representa el número de ocurrencia total de informes recibidos para la ubicación.



**Figura 4-4.** Fallas de comunicación reportados - 2019

4.10.6 Los operadores de aeronaves involucrados en los informes de fallas de comunicación se enumeran en la Tabla 4-3. El principal operador en términos de número de informes y duración son los operadores de Aviación General Internacional (IGA). Tres de los operadores de IGA son registros de aeronaves de Estados Unidos, uno de los operadores de IGA es un registro de aeronaves de México.

4.10.7 Este resultado es un cambio con respecto al informado en 2018, donde cuatro aerolíneas comerciales estuvieron involucradas con 33 fallas de comunicación reportadas que representan 889 minutos. Es posible que la coordinación entre México e IATA haya ayudado a mejorar estos resultados. NAARMO ayudó a establecer un contacto de los informes de fallas de comunicación de México a IATA con el fin de solicitar una respuesta del operador para los sucesos informados. Muchos operadores de aerolíneas borran los datos de sus sistemas dentro de un mes del vuelo, tener informes más oportunos les brinda la oportunidad de responder. Esta información ayuda a determinar las causas relacionadas.

**Tabla 4-3.** Operadores involucrados en los informes de fallas de comunicación - 2019

Código de operador de la OACI	Nombre del operador	Estado del Operador/ Registro	Número de informes	Duración (minutos)
IGA	International General Aviation (IGA) Operators	Varios	4	171
AMX	AEROVIAS DE MEXICO S.A. DE C.V.	MEXICO	3	120
VOI	VOLARIS	MEXICO	3	118
AJJ	ABC AEROLÍNEAS S.A. DE C.V.	MEXICO	3	80

Código de operador de la OACI	Nombre del operador	Estado del Operador/ Registro	Número de informes	Duración (minutos)
VIV	AEROENLACES NACIONALES S.A. DE C.V.	MEXICO	2	78
GMT	GRUPOAEREO MONTERREY, S.A. DE C.V.	MEXICO	3	72
DAL	DELTA AIR LINES, INC.	USA	2	64
RPB	AEROREPUBLICA	COLUMBIA	1	32
TPU	TRANS AMERICAN AIRLINES S.A	PERU	1	31
AAL	AMERICAN AIRLINES INC	USA	1	29
CMP	COMPAÑÍA PANAMEÑA DE AVIACIÓN, S.A.	PANAMA	2	26
LET	AEROLINEAS EJECUTIVAS, S.A. DE C.V.	MEXICO	2	16
STATE	STATE AIRCRAFT OPERATIONS	Varios	1	5

## 5 Estimación del riesgo de colisión vertical

5.1 Esta sección del documento proporciona las estimaciones de los parámetros utilizados en el modelo de riesgo vertical de la OACI. La metodología del riesgo de colisión consiste en un modelo matemático para estimar el riesgo y compararlo con el criterio de seguridad, el nivel objetivo de seguridad (TLS). La sección también proporciona información sobre las fuentes de información utilizadas para estimar los parámetros del modelo de riesgo.

5.2 El TLS acordado internacionalmente para el estándar de separación vertical de 1000 pies se especifica por separado para el riesgo técnico y operativo. El riesgo técnico vertical proporciona el riesgo asociado a los efectos de la turbulencia, la pérdida de retención de altitud y la respuesta de la tripulación a las alertas del sistema de prevención de colisiones a bordo, además de los errores que surgen de la altimetría de la aeronave y el rendimiento del sistema de mantenimiento de altura de altitud. La estimación del riesgo operativo vertical proporciona el riesgo asociado con los errores operativos. El riesgo por todas las causas es la suma de las estimaciones verticales de riesgo operativo y técnico. El TLS para el estándar de separación vertical de 1000 pies se especifica como:

- a) El riesgo de colisión por todas las causas no supera los 5 accidentes mortales en 109 horas de vuelo y, simultáneamente,
- b) El riesgo de colisión debido a los sistemas de mantenimiento de altura de las aeronaves no supera los 2,5 accidentes mortales en 109 horas de vuelo.

5.3 Basado en los datos TFMS de diciembre de 2019, la NAARMO estima aproximadamente 1,206,229 horas de vuelo anuales para 2019 en México y el espacio aéreo de GOMEX donde se aplica RVSM. La Tabla 5-1 muestra las horas de vuelo dentro de cada flujo de tráfico identificado. Dado que se supone que una colisión debida a la pérdida de una separación vertical de 1000 pies da como resultado dos accidentes mortales, el TLS se puede expresar como 2.5 colisiones en el aire mortales por todas las causas en 109 horas de vuelo.

5.4 El espacio aéreo de México y GOMEX consiste en una combinación de rutas paralelas y de cruce; por lo tanto, el riesgo total se expresa como la suma de tres tipos básicos de riesgo de colisión de la siguiente manera:

$$N_{az} = N_{az}(same) + N_{az}(opp) + N_{az}(cross) \quad (1)$$

Los términos en el lado derecho de la ecuación representan el número esperado de accidentes por hora de vuelo de aeronave resultantes de colisiones de pares de aeronaves en la misma ruta, rutas opuestas y cruzadas, respectivamente, debido a la pérdida de separación vertical entre aeronaves en niveles de vuelo adyacentes.

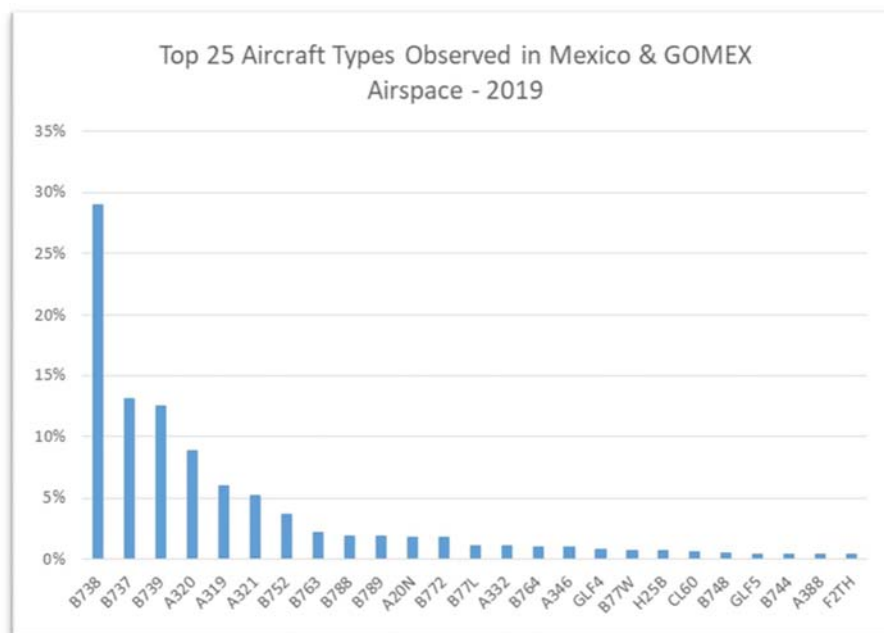
**Tabla 5-1.** Horas de vuelo por flujo de tráfico - 2019

Flujo de tráfico	2019 Horas de vuelo	Proporción de tráfico
<b>GOMEX</b>	273,750	22.7%
<b>Costa afuera/Oceánico</b>	25,000	2.1%
<b>Doméstico</b>	907,479	75.2%
<b>Total</b>	<b>1,206,229</b>	<b>100%</b>

5.5 Los modelos para los tres tipos diferentes de riesgo de colisión (dirección opuesta, misma dirección y rutas de cruce) tienen básicamente la misma estructura. La estimación del riesgo operacional vertical para el tráfico en la misma dirección y en la dirección opuesta se compone de dos partes: la debida al tiempo transcurrido en niveles incorrectos y la debida a la transición de niveles sin autorización.

#### 5.6 Tipos de aeronaves observados en México y el espacio aéreo de GOMEX

5.6.1 La **Figura 5-1** proporciona los 25 tipos de aeronaves principales observados en los datos de tráfico de TFMS México y GOMEX de diciembre de 2019 por horas de vuelo. Estos tipos de aeronaves representan el 95 por ciento del total de horas de vuelo observadas en el espacio aéreo de México y GOMEX. El porcentaje de horas de vuelo observadas para la familia Boeing 737 NGX; incluyendo B737, B738 y B739, es el 55 por ciento de todas las horas de vuelo observadas en los datos de tráfico. El porcentaje de horas de vuelo observadas para la familia Airbus A320; incluidos los A319, A320 y A321, representan el 20 por ciento de todas las horas de vuelo observadas en los datos de tráfico.



**Figura 5-1.** Tipos de aeronaves observados en términos de horas de vuelo en México y el espacio aéreo de GOMEX (2019)



## 5.7 *Tamaño de la aeronave*

5.7.1 Los parámetros del modelo de riesgo de colisión relacionados con el tamaño de la aeronave son: longitud, envergadura de las alas e altura. Estos parámetros se estiman directamente a partir de los datos TFMS de diciembre de 2019 y las especificaciones de aeronaves relacionadas. Las dimensiones promedio se calculan utilizando las dimensiones reales del tipo de aeronave multiplicadas por la proporción del tiempo de vuelo total observado para el tipo en la muestra de tráfico. Los parámetros de CRM resultantes para la longitud, envergadura de las alas e altura de la aeronave se presentan en la **Tabla 5-2**.

**Tabla 5-2.** Estimaciones de parámetros de CRM para el tamaño de la aeronave

Longitud $\lambda_x$ (NM)	Envergadura de alas $\lambda_y$ (NM)	Altura $\lambda_z$ (NM)
0.0224	0.0201	0.007

## 5.8 *Frecuencias de paso vertical en la misma dirección, en dirección opuesta y en la ruta de cruce*

5.8.1 Los datos TFMS se utilizan para estimar el número de pasadas verticales de aeronaves por hora para cada uno de los tres flujos de tráfico; GOMEX, costa afuera/oceánico y doméstico. La razón para separar el tráfico en tres flujos es para tener en cuenta las áreas de baja y alta densidad de tráfico. La Tabla 5-3 proporciona ocupaciones verticales en la misma dirección y en direcciones opuestas por flujo de tráfico. El flujo de tráfico con menor densidad es el flujo de tráfico costa afuera/oceánico, seguido del espacio aéreo de GOMEX. Como se esperaba, el espacio aéreo nacional de México tiene los valores de ocupación vertical más altos en comparación con los otros dos flujos de tráfico.

**Tabla 5-3.** Ocupaciones verticales por flujo de tráfico

Flujo de tráfico	Ocupación vertical en la misma dirección	Ocupación vertical en dirección opuesta
<b>GOMEX</b>	0.070	0.137
<b>Costa afuera/Oceánico</b>	0.000	0.006
<b>Doméstico</b>	0.334	0.064

5.8.2 La ocupación vertical de la ruta de cruce se estima por el número de pares de aeronaves verticalmente próximos en rutas que se cruzan en un ángulo específico,  $\theta$ . Tanto las consideraciones matemáticas como la experiencia en evaluaciones de seguridad previas han establecido que la ocupación vertical estimada para pares de aeronaves en intersecciones de rutas es generalmente menor en un orden de magnitud que la de pares de aeronaves en la misma ruta en niveles de vuelo adyacentes. Por lo tanto, se espera que la estimación del riesgo de colisión para las rutas de cruce sea inferior al riesgo para los niveles de vuelo adyacentes a la misma ruta. El número de pares de aviones que cruzan ruta para el año calendario 2019 es de 190,262 pares de aviones.

### 5.9 *Probabilidad de superposición vertical atribuible al rendimiento técnico de mantenimiento de altura y LHD informados*

5.9.1 Se considera que el riesgo técnico RVSM surge de los efectos de la turbulencia, la pérdida de retención de altitud y la respuesta de la tripulación a las alertas del sistema de prevención de colisiones a bordo, así como de errores en la altimetría de la aeronave y el desempeño del sistema de mantenimiento de altitud. Por lo tanto, la estimación de la probabilidad de superposición vertical debe tener en cuenta las contribuciones al error vertical que surgen de todas estas fuentes.

5.9.2 Las estimaciones del error del sistema altimétrico de la aeronave (ASE) se obtienen de los procesos de monitoreo de altura de la aeronave desarrollados por NAARMO. Estos procesos requieren varios conjuntos de datos, incluidos datos meteorológicos y de altura geométrica de aeronaves. Los datos geométricos de las aeronaves se obtienen del elemento de monitoreo de altura geométrica de las aeronaves de los Estados Unidos (AGHME), de los datos de vigilancia dependiente automática - transmisión (ADS-B) o del sistema de la unidad de monitoreo GPS (GMU). El control del ASE de aeronaves es uno de los principales objetivos del proceso de aprobación RVSM estatal, el cual debe ser realizado por los operadores en el espacio aéreo donde se aplica la RVSM.

5.9.3 La estimación de NAARMO para la probabilidad de superposición vertical para pares de aeronaves que operan en niveles de vuelo adyacentes, Pz (1000), utilizada en la estimación del riesgo técnico vertical es  $1,93 \times 10^{-9}$ . La estimación de NAARMO para la probabilidad de superposición vertical para pares de aeronaves que operan en el mismo nivel de vuelo, Pz (0), utilizada en la estimación del riesgo operacional vertical es 0.42.

### 5.10 *Tiempo pasado en FL inesperado*

5.10.1 La proporción de tiempo de vuelo pasado en niveles incorrectos, Pi, se determina como la relación entre la cantidad de tiempo pasado en niveles incorrectos y la cantidad total de tiempo de vuelo en el espacio aéreo de México durante el período en que ocurrieron los eventos de nivel de vuelo incorrecto. Los LHD que califican para el año calendario 2019 contienen 33.5 minutos de tiempo de vuelo a un nivel de vuelo inesperado. Este tiempo se divide en los tres flujos de tráfico identificados según la ubicación proporcionada en el LHD informado. La **Tabla 5-4** proporciona el desglose de la duración de LHD informada y los niveles de vuelo cruzados por el flujo de tráfico identificado.

**Tabla 5-4.** Duración de LHD reportada y niveles de vuelo cruzados por flujo de tráfico

Flujo de tráfico	Duración reportada de LHD (min)	Número de niveles de vuelo cruzados sin autorización
<b>GOMEX</b>	8.5	2
<b>Costa afuera/Oceánico</b>	15	0
<b>Doméstico</b>	10	14
<b>TOTAL</b>	<b>33.5</b>	<b>16</b>

### 5.11 Parámetros del modelo de riesgo de colisión

5.11.1 Los parámetros individuales de los modelos, sus definiciones, sus estimaciones y sus fuentes se dan en la **Tabla 5-5**. Estos parámetros son comunes a la estimación de riesgo vertical para todos los flujos de tráfico identificados.

**Tabla 5-5.** Estimaciones de los parámetros del modelo de riesgo de colisión vertical

Término	Definición	Estimar	Fuente
$P_z(S_z)$	Probabilidad de que dos aeronaves que operan en la misma ruta nominalmente separadas por el mínimo de separación vertical $S_z$ estén en superposición vertical.	$1.93 \times 10^{-9}$	Valor utilizado en la estimación de riesgo vertical US CONUS
$P_z(0)$	Probabilidad de que dos aeronaves que operan en la misma ruta y nivel de vuelo estén en superposición vertical.	0.42	Valor utilizado en la estimación de riesgo vertical US CONUS
$P_y(0)$	Probabilidad de que dos aviones en la misma pista estén en superposición lateral.	0.1	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical para el espacio aéreo del Pacífico
$\lambda_x$	Longitud media de la aeronave.	0.0224 NM	Estimado utilizando la muestra TFMS de México de diciembre de 2019
$\lambda_y$	Envergadura promedio de la aeronave.	0.0201 NM	Estimado utilizando la muestra TFMS de México de diciembre de 2019
$\lambda_z$	Altura promedio de la aeronave con el tren de aterrizaje retraído.	0.0064 NM	Estimado utilizando la muestra TFMS de México de diciembre de 2019
$ \overline{\Delta V} $	Velocidad relativa absoluta promedio a lo largo de la vía entre aeronaves en rutas en la misma dirección.	13 knots	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical del espacio aéreo del Atlántico norte, del Pacífico y de Estados Unidos Doméstico
$ \overline{V} $	Velocidad absoluta promedio de la aeronave en tierra.	480 knots	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical del espacio aéreo del Atlántico norte, del Pacífico y de Estados Unidos Doméstico
$ \overline{y} $	Velocidad media absoluta relativa transversal a la derrota para un par de aeronaves nominalmente en la misma ruta.	5 knots	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical del espacio aéreo del Atlántico norte, del Pacífico y de Estados Unidos Doméstico

Término	Definición	Estimar	Fuente
$\left  \frac{\dot{z}}{Z} \right $	Velocidad vertical relativa absoluta promedio de un par de aviones que ha perdido toda la separación vertical	1.5 knots	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical del espacio aéreo del Atlántico norte, del Pacífico y de Estados Unidos Doméstico

## 6 Resultados y conclusiones

6.1 La **Tabla 6-1** provee estimaciones de 2019 del riesgo vertical técnico y operativo para el espacio aéreo de México y GOMEX.

**Tabla 6-1.** Estimaciones de riesgo vertical 2019 para México y el espacio aéreo RVSM de GOMEX

Descripción	Estimación de riesgo ( $\times 10^{-9}$ fapfh)
Estimación del riesgo técnico	<b>0.07</b>
Estimación del riesgo debido a la operación a niveles de vuelo incorrectos	<b>4.85</b>
<b>Estimación del riesgo general</b>	<b>4.92</b>

6.6 El riesgo técnico estimado en el espacio aéreo RVSM de México y GOMEX es de  $0.07 \times 10^{-9}$  accidentes fatales por hora de vuelo (fapfh). Esta estimación está significativamente por debajo de  $2.5 \times 10^{-9}$  fapfh, que es la parte del TLS establecida como objetivo de seguridad para el rendimiento técnico de mantenimiento de altura.

6.7 La estimación del riesgo operacional para el espacio aéreo RVSM de México y GOMEX es  $4.85 \times 10^{-9}$  fapfh. La suma de este valor y la estimación de riesgo técnico para el espacio aéreo de México es  $4.92 \times 10^{-9}$  fapfh, que está por debajo del objetivo de seguridad general de  $5.0 \times 10^{-9}$  fapfh.

6.8 La **Tabla 6-2** proporciona las estimaciones de riesgo vertical general para los años calendario 2015 - 2019 para el espacio aéreo RVSM de México. El aumento en la estimación de riesgo vertical para el año calendario 2018 se produjo debido a tres LHD informados de larga duración. En 2019, el método de cálculo fue ligeramente diferente en comparación con las estimaciones anteriores. En 2019, se identificaron tres flujos de tráfico y se utilizaron para estimar los parámetros asociados en el modelo de riesgo. Por ejemplo, el riesgo calculado para un LHD informado que ocurrió en una sección del espacio aéreo sin radar de baja densidad de tráfico tendrá un valor de riesgo menor en comparación con un LHD dentro de un área de alta densidad de tráfico.

**Tabla 6-2.** Estimaciones generales de riesgo vertical para el espacio aéreo RVSM de México

Año del calendario	Estimación del riesgo de colisión vertical ( $\times 10^{-9}$ fapfh)
2015	4.8
2016	4.8
2017	3.2
2018	16.7
<b>2019</b>	<b>4.92</b>