



OACI

Organización de Aviación Civil Internacional
Oficina Regional Sudamericana

NOTA DE ESTUDIO

GTE/19 — NE/06

22/10/19

Décimo novena Reunión del Grupo de Trabajo de Escrutinio del Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS)

Barranquilla, Colombia, 18 al 22 de noviembre de 2019

Cuestión 3 del

Orden del Día:

Revisión de los resultados del análisis de Grandes Desviaciones de Altitud (LHD)

- c) **Resultados 2018 de la evaluación de la Seguridad Operacional (CRM) en el espacio aéreo de Separación Vertical Mínima Reducida (RVSM)**

RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL (CRM) DEL AÑO 2018 EN LAS REGIONES CAR/SAM

(Presentada por CARSAMMA)

RESUMEN	
Esta nota de estudio presenta un resumen del cálculo del riesgo de colisión vertical en las Regiones CAR/SAM en 2018 utilizando la metodología CRM.	
REFERENCIAS:	
• ICAO Doc 9574 - AN/934, Tercera Edición - 2012. • ICAO Doc 9937 - AN/477, Primera Edición - 2012. • Movimiento de aeronaves en el espacio RVSM en 2018. • Reportes de Large Height Deviations (LHD) en 2018.	
Objetivos estratégicos de la OACI	A - Seguridad operacional.

1 Antecedentes

1.1 El propósito de este trabajo es mostrar que los criterios de seguridad definidos en el Doc 9574 y en el Doc. 9937 de la OACI continúa cumpliéndose en el espacio aéreo RVSM de las Regiones CAR/SAM.

1.2 Este documento informa sobre el análisis del riesgo de colisión vertical en el espacio aéreo RVSM en 2018 en las Regiones de Información de Vuelo (FIR) del Caribe y América del Sur. Para este trabajo, se utilizó la metodología de cálculo del Modelo de Riesgo de Colisión vertical (CRM), según lo recomendado por la OACI en el espacio aéreo RVSM.

2 Análisis

2.1 Según el Doc. 9574 y el Doc. 9937, la evaluación debe hacerse para asegurar que las operaciones en el espacio aéreo RVSM no induzcan un aumento en el riesgo de colisión de manera que el riesgo vertical total no exceda los objetivos de seguridad definidos.

2.2 Para la evaluación cuantitativa, se utiliza el Modelo de Riesgo de Colisión vertical de Reich, según lo recomendado por la OACI. Este es un modelo de fundamentos matemáticos intensivos que, después de analizar los movimientos de aeronaves (hojas de cálculo que contienen datos sobre vuelos realizados en el espacio aéreo RVSM), calcula el nivel de seguridad (TLS) de la Región de Vuelo en estudio.

2.3 La evaluación de la seguridad RVSM cubre un período de doce meses consecutivos.

2.4 Deberá prestarse especial atención a que:

- Todas las aeronaves que operan en espacio aéreo de separación vertical mínima reducida están certificadas RVSM;
- La certificación de la aeronave es actual;
- Se sigue cumpliendo el nivel objetivo de seguridad (TLS) de 5×10^{-9} accidentes mortales por hora de vuelo (para el seguimiento de una muestra representativa de aeronaves);
- El uso de RVSM no aumenta el nivel de riesgo debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- Hay evidencia de la estabilidad del sistema de altimetría de aeronaves (ASE);
- La introducción de RVSM no aumenta el nivel de riesgo debido a errores operacionales y contingencias de vuelo, de acuerdo con un nivel predefinido de confianza estadística;
- Se adoptan medidas adicionales de seguridad eficaces para reducir el riesgo de colisión y cumplir con las metas de seguridad debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- Los procedimientos de control del tránsito aéreo continúan siendo efectivos.

3 Espacio aéreo CAR/SAM

3.1 El espacio aéreo de las Regiones CAR / SAM se extiende por una amplia zona que se extiende desde el Golfo de México hasta la Patagonia, que abarca 34 regiones de información de vuelo (FIR) de los siguientes países: Antigua, Antillas, Argentina, Barbados, Barbuda, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, El Salvador, Ecuador, Grenada, Guadalupe, Guatemala, Guyana, Guyana Francesa, Haití, Honduras, Jamaica, Martinica, Nevis, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, San Bartolomé, St. Kitts, St. Lucia, St. Vincent, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.

3.2 Cada parte del espacio aéreo fue tratada como un sistema aislado, con sus propios parámetros estadísticos.

3.3 Recolección de Tráfico de Datos - La muestra utilizada para evaluar la frecuencia de pasaje y parámetros físicos y dinámicos de las aeronaves típicas para evaluar el riesgo de colisión, se recogió en el período comprendido entre el 01 y el 31 de diciembre de 2018 de las 34 FIR de CAR/SAM. En estos datos de movimientos de las muestras recogidas se recibieron **342.239** líneas de registros de vuelos de las FIR mencionadas. Todos los registros fueron depurados, restando **330.200** líneas de registros de vuelos validados en el proceso. Sin embargo, todos los datos enviados fueron explotados en otro producto de CARSAMMA, que es la auditoría del espacio aéreo RVSM. Al igual que en años anteriores, gran parte de los datos recibidos de algunos Estados no pudieron ser explotados en el CRM por diversas razones, incluyendo errores en los tiempos de entrada y salida del espacio RVSM (menor o igual tiempo de entrada de los vuelos), falta de información completa para identificar y localizar rutas fijas y notificaciones, o incluso enviar datos más allá de la fecha límite.

3.4 En cuanto a la ocurrencia de desviaciones verticales (LHD) reportadas en las Regiones CAR/SAM, **CARSAMMA recibió un total de 976 LHD en 2018. Tras el análisis y validación, 834 de estos LHD se consideraron válidos en las Regiones CAR/SAM.**

3.5 Por lo tanto, el total de LHD analizados por los parámetros del CRM fueron:

Codigo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Total LHD	5	2	0	7	743	67	0	1	1	5	1	1	1

Tabla 1

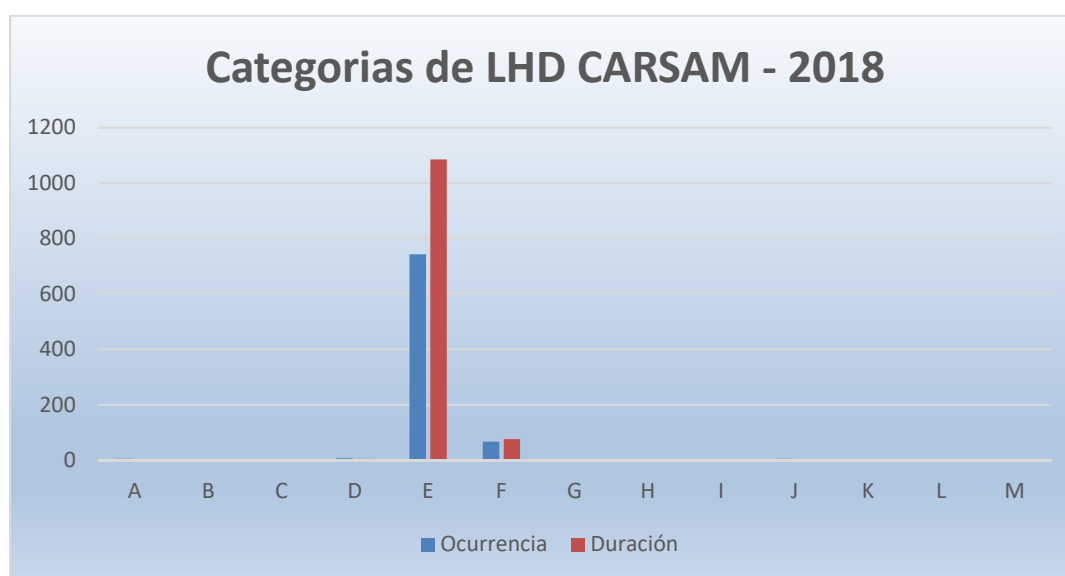


Figura 1

3.6 En la siguiente tabla se describe la distribución de LHD al mes:

MÊS	LHD	Duración Total (min)	Duración Mediana (min)
Enero	57	59,25	1,04
Febrero	59	65,08	1,10
Marzo	74	90,67	1,23
Abril	57	80,17	1,41
Mayo	53	48,92	0,92
Junio	73	79,50	1,09
Julio	63	90,92	1,44
Agosto	72	71,67	1,00
Septiembre	64	69,92	1,09
Octubre	75	89,25	1,19
Noviembre	107	236,00	2,21
Diciembre	80	196,23	2,45
Total	834	1.177,57	1,41

Tabla 2

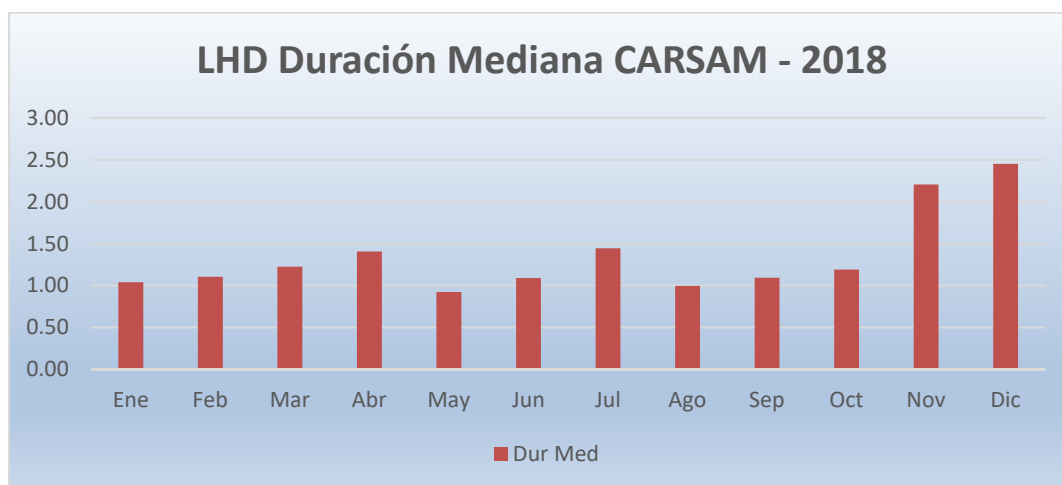


Figura 2

4 Recolección de datos de movimiento de aeronaves

4.1 Los datos de la muestra para estimar la frecuencia de paso y los parámetros físicos, así como la dinámica de una aeronave típica para la evaluación del riesgo de colisión vertical se recolectaron del 1 al 31 de diciembre de 2018.

4.2 Los datos de movimiento de aeronaves recibidos de las 34 FIR CAR/SAM fueron procesados y utilizados para evaluar la seguridad del espacio aéreo RVSM, según lo recomendado por la OACI.

4.3 Al recibir los datos de movimiento de las aeronaves, CARSAMMA procedió a filtrar y procesar los datos. En la **Tabla 3** se muestran los resultados y lista los aviones que volaron a través de las FIR de CAR/SAM, con sus dimensiones y porcentaje de números de vuelo, incluyendo un avión típico, utilizado como una dimensión del Modelo de Cálculo de Riesgo Vertical.

Type ACFT	Length	Wingspan	Height	# Flights	% ACFT
B738	0,021328	0,018521	0,006749	58.359	22,18%
A320	0,020286	0,018413	0,00635	57.756	21,96%
E190	0,019568	0,015507	0,005707	16.831	6,40%
A321	0,024033	0,018413	0,00635	15.836	6,02%
A319	0,018272	0,018413	0,00635	14.902	5,66%
B737	0,018898	0,018521	0,006749	12.834	4,88%
B763	0,029644	0,025702	0,007559	10.823	4,11%
A332	0,031749	0,032559	0,009395	9.255	3,52%
E195	0,019568	0,015507	0,005707	6.531	2,48%
B77W	0,034395	0,034989	0,010043	5.361	2,04%
B772	0,034395	0,032883	0,009989	5.335	2,03%
B789	0,034017	0,034017	0,009179	4.708	1,79%

B788	0,030778	0,032397	0,009179	2.782	1,06%
B752	0,025551	0,020788	0,007322	2.217	0,84%
CRJ2	0,014454	0,011452	0,003358	2.125	0,81%
B733	0,017279	0,016199	0,006479	2.087	0,79%
B38M	0,021328	0,021328	0,006749	1.783	0,68%
A346	0,040659	0,003426	0,009341	1.659	0,63%
A333	0,034341	0,032559	0,009098	1.611	0,61%
B739	0,021328	0,018521	0,006749	1.582	0,60%
B77L	0,034395	0,034989	0,010043	1.517	0,58%
B744	0,038175	0,034773	0,010475	1.513	0,58%
A20N	0,020286	0,018413	0,00635	1.293	0,49%
A343	0,034341	0,032559	0,009098	1.253	0,48%
B734	0,019708	0,015605	0,005994	1.200	0,46%
Others				20.087	8,33%
Typical	0,02678	0,02376	0,00834	261.240	100,00%

Tabla 3 – Aeronaves que volaron RVSM en las FIR CAR/SAM
(Las medidas de las dimensiones se expresan en millas náuticas)

5 Evaluación de la seguridad del riesgo de colisión (CRM)

5.1 En esta sección se analizan los resultados de la evaluación del riesgo de colisión del espacio aéreo RVSM en la FIR CAR/SAM.

5.2 La metodología de riesgo de colisión internacionalmente aceptada (CRM) se ha utilizado para la evaluación de seguridad del espacio aéreo RVSM en el Caribe y Sudamérica.

5.3 Estimaciones del parámetro CRM:

$$N_{ax} = 2P_y(0)P_z(0) \left(\frac{|\dot{x}(m)|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}_0|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}_0|}{2\lambda_z} \right) \frac{2\lambda_x}{|\dot{x}(m)|} \frac{1}{T} \sum_s E(s)Q(s)$$

Figura 3 – Formula general del Modelo del Riesgo de Colisión REICH

5.3.1 El material y la cantidad de la fuente utilizada para estimar los valores de cada parámetro del modelo de riesgo de colisión aceptado internacionalmente (CRM) utilizado para evaluar la seguridad del espacio aéreo RVSM se resumen en la **Tabla 4**.

Parámetro	Descripción	Valores
λ_x	Longitud media de la muestra de la aeronave	0,02678 nm
λ_y	Extensión media de la muestra de la aeronave	0,02376 nm
λ_z	Altura media de la muestra de la aeronave	0,00834 nm
$ V $	Velocidad media de la muestra de la aeronave (módulo)	431,697 kt
$ \Delta V $	Velocidad relativa de la misma dirección de la muestra de la aeronave (módulo)	29,90851 kt
$ \dot{y} $	Velocidad media relativa a la aproximación transversal de la muestra de la aeronave (módulo)	13 kts
$ \dot{z} $	Velocidad vertical relativa media durante la pérdida de la separación vertical de la muestra de la aeronave (módulo)	1,5 kts
$P_z(0)$	Probabilidad de que dos aviones con el mismo nivel nominal se superpongan lateralmente en la muestra de la aeronave	0,298265

Tabla 4 - Estimaciones de parámetros de CRM

5.4 Demostración de la viabilidad técnica de la RVSM en las Regiones CAR / SAM

5.4.1 Esto implica evaluar los resultados de los valores de los parámetros del Modelo de Riesgo de Colisión REICH:

- Frecuencia de paso **Nx**;
- Probabilidad de superposición vertical **Pz (1000)**; y
- Probabilidad de superposición lateral **Py (0)**.

Para demostrar esto, se establecieron los siguientes objetivos:

- Generar confianza en el cumplimiento del TLS técnico; y
- Certificar la estabilidad del ASE.

5.5 Especificaciones de rendimiento del sistema

5.5.1 Frecuencia de paso, Nx - Este es el parámetro del espacio aéreo en el que la aeronave está expuesta al riesgo de colisión vertical. La frecuencia de paso equivalente se estimó teniendo en cuenta los aviones que vuelan en la misma dirección y en direcciones opuestas, como se muestra en la **Tabla 5**.

Frecuencia de Paso CAR/SAM	Misma Dirección	Dirección Opuesta	Equivalente	Horas de Vuelo
	0,00496611	0,02762529	0,03591072	1.038.066

Tabla 5 – Frecuencia de Paso

5.5.2 Los valores se relacionan con el sistema del espacio aéreo CAR/SAM. Se debería observar que se ha calculado que la frecuencia de paso equivalente mostrada en la **Tabla 5 (0,03591072)** se calculó sobre la base de las horas de vuelo de las 34 FIR CAR/SAM.

El valor estimado de $P_z(1000)$ utilizado en nuestras calculaciones fue de $2,46 \times 10^{-8}$.

5.6 Estimación del riesgo de colisión

5.6.1 La **Tabla 6** contiene los conjuntos de los parámetros físicos y dinámicos que se estiman en el perfil de riesgo, así como el seguimiento de los parámetros principales para las FIR CAR/SAM. Todos los parámetros se determinaron basados en el espacio aéreo de cada región que se considera un sistema aislado.

CAR/SAM	E (misma)	Ez (opuesta)	Ez	ΔV (misma)	ΔV (opuesta)	V
	0,017081	0,030399	0,047480	29,90851	418,36722	431,697 kt

Tabla 6 – Parámetros físicos y dinámicos

5.7 En la Figura 4 presentamos el riesgo de colisión consolidado en las FIR CAR / SAM en 2018 para mostrar anualmente y por FIR los riesgos de colisión vertical estimados. Debe entenderse que las FIR que presentan el informe LHD tienen un mayor riesgo, pero a menudo debido a fallas causadas por FIR adyacentes a su espacio aéreo.

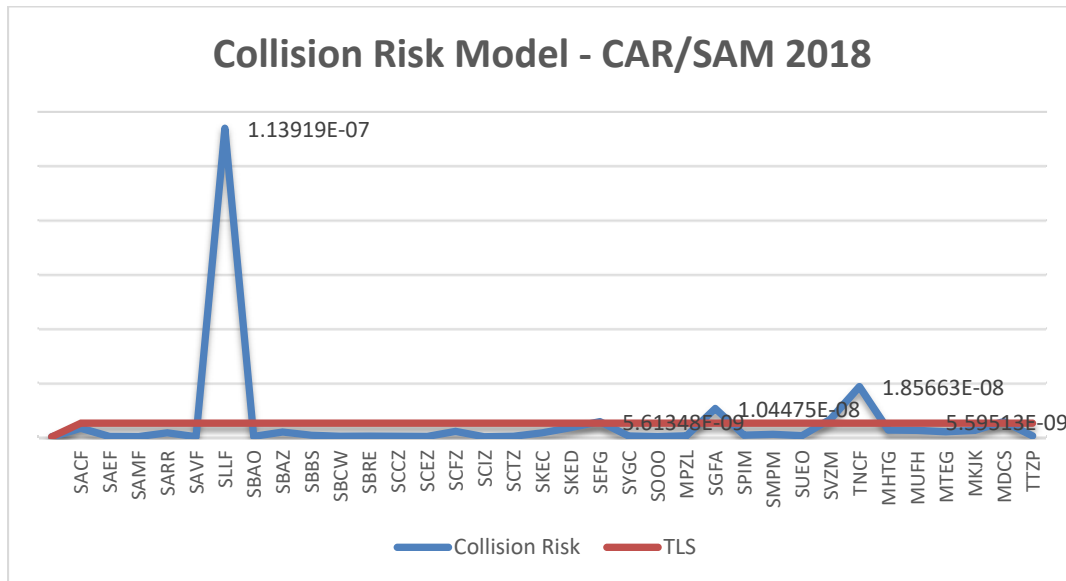


Figura 4 - Riesgo de Colisión Vertical por FIR

6 Conclusiones de la evaluación de seguridad (CRM)

6.1 El riesgo se estimó mediante los valores FIR presentados en la Tabla 7, que se lograron al final del procesamiento de todos los datos recibidos y compilados, y procesados en el software CRM específico.

FIR	Technical Risk	Operational Risk	Risk
Curacao – TNCF	3,01E-11	1,85E-08	1,86E-08
Central América - MHTG	3,90E-11	2,43E-09	2,47E-09
Havana – MUFH	4,13E-11	2,30E-09	2,34E-09
Port-au-Prince – MTEG*	1,34E-11	1,80E-09	1,81E-09
Kingston – MKJK*	8,74E-11	2,00E-09	2,08E-09
Santo Domingo – MDCS	3,56E-11	5,56E-09	5,60E-09
Piarco – TTZP	1,16E-11	3,20E-10	3,32E-10
FIR	Technical Risk	Operational Risk	Risk
Cordoba – SACF	1,18E-11	3,17E-09	3,18E-09
Ezeiza – SAEF	3,18E-11	9,23E-11	1,24E-10
Mendoza – SAMF	7,04E-12	4,64E-11	5,34E-11
Resistência – SARR	6,45E-12	1,47E-09	1,47E-09
Comodoro Rivadavia – SAVF	1,67E-11	0,00E+00	1,67E-11
La Paz - SLLF	7,38E-11	1,14E-07	1,14E-07
Atlântico – SBAO	7,75E-11	9,92E-11	1,77E-10
Amazônica - SBAZ	3,08E-11	1,73E-09	1,76E-09
Brasília – SBBS	3,61E-11	5,40E-10	5,76E-10
Curitiba - SBCW	1,35E-11	1,44E-10	1,58E-10
Recife - SBRE	1,91E-11	2,05E-10	2,24E-10
Punta Arenas - SCCZ	1,53E-10	0,00E+00	1,53E-10
Santiago - SCEZ	7,77E-11	0,00E+00	7,77E-11
Antofagasta – SCFZ	2,56E-11	1,96E-09	1,99E-09
Isla de Pascua – SCIZ	7,70E-13	0,00E+00	7,70E-13
Puerto Montt - SCTZ	1,52E-10	0,00E+00	1,52E-10
Barranquilla - SKEC	6,88E-11	1,37E-09	1,44E-09
Bogotá - SKED	1,11E-10	3,31E-09	3,42E-09
Guayaquil – SEFG	3,29E-11	5,58E-09	5,61E-09
Georgetown – SYGC	1,86E-11	2,53E-10	2,72E-10
Cayenne – SOOO	5,79E-11	0,00E+00	5,79E-11
Panamá Oceanic – MPZL	3,32E-11	2,76E-10	3,09E-10
Asunción – SGFA	6,53E-12	1,04E-08	1,04E-08
Lima - SPIM	9,99E-12	5,87E-10	5,97E-10
Paramaribo – SMPM	1,64E-11	8,43E-10	8,59E-10
Montevideu - SUEO	1,50E-11	3,60E-10	3,75E-10
Maiquetia – SVZM	8,97E-12	6,53E-09	6,54E-09
FIR CAR/SAM	Technical Risk	Operational Risk	Risk
	0,0401E-09	2,28E-09	2,32E-09

Tabla 7 - Riesgo estimado por FIR

6.2 El riesgo técnico de las FIR CAR / SAM cumple con el valor TLS que no excede $2,5 \times 10^{-9}$ accidentes fatales por hora de vuelo debido a la pérdida de la separación vertical estándar de 1.000 pies y todas las demás causas.

6.3 El riesgo operacional no tiene un límite de valor predeterminado según el Doc 9574 OACI.

6.4 **El riesgo total estimado es en el caso de las FIR evaluadas es de $2,32 \times 10^{-9}$, por debajo del límite establecido (TLS) que es $5,0 \times 10^{-9}$.**

Espacio Aéreo RVSM CAR/SAM – Horas anuales estimadas de vuelo = 1.038.066 horas – (nota: Tiempo estimado basado en muestra de diciembre de 2018)			
Fuente del Riesgo	Riesgo Estimado	TLS	Comentario
Riesgo Técnico	$0,0401 \times 10^{-9}$	$2,5 \times 10^{-9}$	Debajo
Riesgo Operacional	$2,28 \times 10^{-9}$	-	-
Riesgo Total	$2,32 \times 10^{-9}$	$5,0 \times 10^{-9}$	Debajo

7 **Acciones sugeridas**

7.1 Se invita a la Reunión a:

- a) Tomar nota y revisar el contenido de este documento de trabajo; y
- b) compartir experiencias y expresar opiniones sobre las acciones de CARSAMMA en esta materia.
- c) Utilizar esta información para el establecimiento de estrategias que permitan reducir los eventos LHD y mejorar el nivel de seguridad operacional de los espacios aéreos de las FIRs de las áreas CAR/SAM.