

Modelo predictivo de demanda asistencial en carreras de calle:

Desarrollo, aplicación y validación prospectiva en la 15K Adizero Buenos Aires 2026

*Predictive model of medical demand in road races: development, implementation and prospective
validation at the 15K Adizero Buenos Aires 2026*

Diego Pizzini¹²³⁴

Agustín Astorga¹²

Lucas Villoria³⁵

¹ EMERTEAM Sports Risks & Emergency Management, Buenos Aires, Argentina

² Certified World Athletics Race Emergency Medicine Director

³ Licenciatura en Protección Civil y Emergencias (tesista), Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF), Buenos Aires, Argentina

⁴ Secretario del Comité de Reanimación, Sociedad Argentina de Medicina Prehospitalaria (SAMPRE)

⁵ Técnico Universitario en Protección Civil y Emergencias, UNTREF

Autor de correspondencia: Diego Pizzini — EMERTEAM | Buenos Aires, Argentina

Resumen

Introducción: Las carreras populares de calle presentan una demanda asistencial cuya distribución espaciotemporal es impredecible en ausencia de datos empíricos propios del evento. La planificación de dispositivos de emergencias en este contexto carece de modelos predictivos prospectivos validados en el contexto latinoamericano.

Métodos: Estudio observacional prospectivo de cohorte única con componente predictivo-validatorio (protocolo pre-registrado en OSF: 07/06/2026, 00:28 AM). Se analizaron 5.845 inscriptos mediante un modelo de estratificación de riesgo de seis niveles (sexo × edad). Se estimaron tasas de demanda asistencial a partir de la literatura de referencia, ajustadas por perfil epidemiológico y modificador ambiental (WBGT). El registro ambiental fue realizado con estación AcuRite Atlas 7-en-1 y medidor de WBGT dedicado. Los incidentes fueron registrados en planilla estandarizada y cruzados con la base de inscriptos. Los horarios de atención fueron contrastados con la curva real de llegadas a meta (chip timing).

Resultados: Se registraron 7 pacientes únicos (10 atenciones totales, 3 escaladas de nivel asistencial) sobre 5.192 finishers. Tasa: 1,35/1.000 finishers. Código 100% verde. Cero traslados. Cero SCA. El modelo predijo 24 incidentes (sobrepredicción ×3,4), explicada por perfil competitivo superior al asumido (H35+ P90 real: 6:47 min/km vs. 9:00 min/km estimado), humedad significativamente mayor (86–90% vs. ~75% proyectado) y WBGT superior al proyectado (15,7–17,6 °C vs. 8–11 °C), aunque dentro de la categoría LOW World Athletics. El 100% de las atenciones ocurrió en el puesto de llegada, con distribución temporal correlacionada con la curva de llegadas a meta (minutos 75–138 post-largada).

Conclusiones: La concentración del 100% de las atenciones en el área de meta, correlacionada con la curva de llegadas, constituye el hallazgo operativo principal. El modelo fue preciso en los parámetros de timing y sobrepredicador en la demanda asistencial total. Los datos empíricos del evento definen la línea de base para la calibración del modelo en ediciones sucesivas.

Palabras clave (MeSH): *Athletic Performance; Emergency Medical Services; Mass Gatherings; Risk Assessment; Exercise-Associated Collapse*

Keywords: *road racing; medical demand prediction; mass-participation events; WBGT; sports emergency medicine*

Introducción

Las carreras populares de calle concentran millones de participantes anuales a nivel global, con crecimiento sostenido en las últimas dos décadas. La muerte súbita cardíaca (MSC) en atletismo popular, aunque de baja incidencia absoluta (1:1.500–5.000 finishers en eventos de 10–42 km), representa el evento centinela que define el nivel de preparación mínima de cualquier dispositivo de emergencias.^{1,2} El perfil epidemiológico de mayor riesgo está dominado consistentemente por hombres mayores de 35 años con cardiopatía isquémica subyacente no diagnosticada.^{3,4}

La planificación de dispositivos de emergencias en eventos de atletismo popular se basa predominantemente en criterios normativos genéricos o en experiencia acumulada del organizador, sin referencia a datos epidemiológicos propios del evento. Esta brecha entre la evidencia disponible y la práctica operativa tiene consecuencias directas sobre el dimensionamiento de recursos y el posicionamiento del personal asistencial.

Los estudios publicados sobre demanda asistencial en atletismo popular son predominantemente retrospectivos, emplean denominadores imprecisos (inscriptos vs. finishers) y no integran la dinámica de flujo de corredores como variable modificadora.^{5,6,7} En el contexto latinoamericano no se han identificado estudios prospectivos que combinen modelo predictivo pre-especificado, registro ambiental propio de alta resolución y validación post-evento.

El presente estudio desarrolla, aplica y valida prospectivamente un modelo predictivo de demanda asistencial en la 15K Adizero Buenos Aires 2026, aportando datos empíricos sobre la distribución espaciotemporal de los incidentes y su correlación con la curva real de llegadas a meta.

Métodos

Diseño del estudio

Estudio observacional prospectivo de cohorte única con componente predictivo-validatorio. El protocolo fue pre-registrado en Open Science Framework (osf.io) con timestamp del 7 de junio de 2026 a las 00:28 AM, anterior a la largada del evento. El estudio adhiere a la declaración STROBE para estudios observacionales. El riesgo ético es mínimo: no implica intervención sobre participantes ni modificación del protocolo asistencial estándar. Los datos fueron analizados en formato anonimizado y agregado.

Población y evento

La 15K Adizero Buenos Aires 2026 se realizó el 7 de junio de 2026 en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, con largada a las 08:00 horas. La base de inscriptos comprende 5.845 corredores (masculino: 3.118 [53,3%]; femenino: 2.727 [46,7%]; edad media: 38,7 años [DE: $\pm 10,7$]; mediana: 38; RIC: 30–46). Los finishers reales fueron 5.192, determinados por chip timing oficial (tasa de finalización: 88,8%).

Estratificación de riesgo

Se aplicó un modelo de seis niveles de riesgo basado en la interacción entre sexo y edad, con fundamento en la epidemiología de la MSC en atletismo popular.^{2,3} El modelo diferencia el umbral de riesgo femenino (50 años, pérdida de protección estrogénica) del masculino (35 años) y desagrega el riesgo masculino en tres subgrupos. Los niveles de riesgo estratifican el perfil epidemiológico cardiovascular del corredor antes del evento y son independientes del código de prioridad clínica asignado al incidente durante el evento (Tabla 1).

Tabla 1. Modelo de estratificación de riesgo de seis niveles. 15K Adizero Buenos Aires 2026 (n=5.845 inscriptos).

Nivel	Criterio	N	%	Fundamento
CRÍTICO	H \geq 50 años	534	9,1%	Incidencia SCA 3–4× mayor vs. H35–49 (8)
ALTO	H 35–49 años	1.306	22,4%	Mayor prevalencia cardiopatía isquémica no diagnosticada
MODERADO -ALTO	H < 35 años	1.278	21,9%	Riesgo reducido; MSC por miocardiopatía en jóvenes
MODERADO	M \geq 50 años	305	5,2%	Pérdida protección estrogénica posmenopausia
BAJO	M 35–49 años	1.164	19,9%	Protección estrogénica activa; riesgo no nulo
BASAL	M < 35 años	1.258	21,5%	Menor incidencia documentada en literatura

Modelo predictivo

Las tasas base de incidencia fueron tomadas de: SCA (1:2.750 finishers),¹ EAC hemodinámico (0,5/1.000),⁵ EAMC (1,5/1.000),⁵ EHS (0,3/1.000),⁹ EAH (0,3/1.000),¹⁰ trauma musculoesquelético (0,7/1.000),⁷ hipoglucemia (0,3/1.000).⁶ Se aplicaron dos factores de corrección: (a) factor de perfil: $\times 1,15$ para incidentes cardiovasculares por proporción de corredores en niveles CRÍTICO+ALTO (31,5%) respecto a la distribución de referencia (20%); (b) factor ambiental: $\times 0,1$ para EHS por WBGT proyectado < 15 °C, y $\times 1,5$ para EAH por temperatura baja y velocidad de campo conservadora estimada.

Registro ambiental

El registro fue realizado con dos instrumentos posicionados en el área de meta: (a) estación AcuRite Atlas 7-en-1 (temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, precipitación, radiación solar y presión barométrica; resolución 5 minutos); (b) medidor de WBGT dedicado (resolución 15 minutos, medición manual). Se obtuvieron 4 registros AcuRite y 8 registros WBGT válidos con cobertura de la ventana de carrera (08:10–10:16 h). Para el análisis se utilizaron la temperatura de bulbo seco y humedad relativa de la AcuRite Atlas, y el WBGT del medidor dedicado.

Registro de incidentes y reconstrucción del dataset

El registro fue realizado en planilla estandarizada (PRC-EMERTEAM-001). Variables registradas: hora de ingreso y egreso, número de dorsal, motivo de consulta, diagnóstico

presuntivo, nivel de atención, código de prioridad y situación final. El perfil de cada paciente (sexo, edad, nivel de riesgo) fue verificado mediante cruce con la base de inscriptos por número de dorsal (6/7 pacientes) o número de documento (1/7). Los horarios de atención fueron cruzados con la curva real de llegadas a meta (chip timing) para análisis de correlación espaciotemporal.

Análisis estadístico

Dado el bajo N de eventos asistenciales (n=7), el análisis es descriptivo. Se calcularon: tasa de demanda asistencial por 1.000 finishers, error absoluto medio (EAM), error porcentual absoluto medio (EPAM) y factor de sobrepredicción global. No se realizaron pruebas de significación estadística.

Resultados

Perfil del campo de corredores

El grupo de mayor riesgo cardiovascular (niveles CRÍTICO+ALTO: $H \geq 35$) comprende 1.840 inscriptos (31,5% del total) y 1.747 finishers verificados (33,6% del total de finishers). La franja 35–44 años concentra el mayor volumen absoluto de ambos sexos (1.741 inscriptos, 29,8%). La distribución por franja etaria se presenta en la Figura 1.

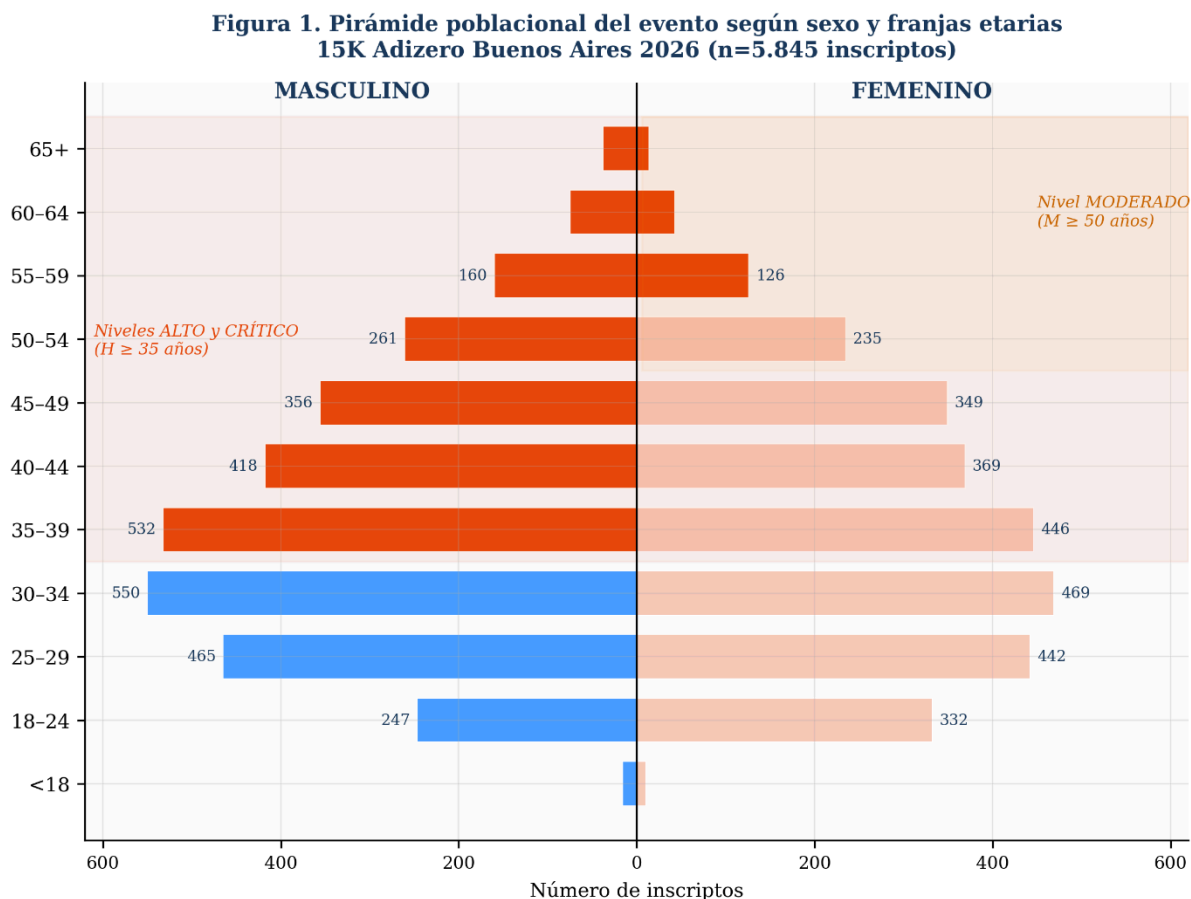


Figura 1. Pirámide poblacional del evento según sexo y franjas etarias. Los segmentos naranja representan los niveles CRÍTICO y ALTO del modelo ($H \geq 35$). Fuente: base de inscriptos 15K Adizero Buenos Aires 2026 ($n=5.845$).

Condiciones ambientales

Las condiciones registradas durante el evento se presentan en la Tabla 2. La temperatura de bulbo seco (AcuRite Atlas) fue de 14,8–15,2 °C (media: 15,0 °C), la humedad relativa de 86–90% (media: 88,0%) y el viento de 6–10 km/h. El WBGT registró valores de 15,7–17,6

°C (media: 16,5 °C). Todos los registros correspondieron a la categoría LOW de la escala World Athletics (WBGT 10–18 °C), indicativa de buenas condiciones sin restricción de participación. La temperatura de bulbo seco fue levemente superior a la proyectada (10–12 °C); el principal error predictivo ambiental fue en la humedad relativa (real: 86–90% vs. ~75% proyectada) y en el WBGT (real: 15,7–17,6 °C vs. 8–11 °C proyectados). La serie temporal del WBGT con la clasificación WA se ilustra en la Figura 2.

Tabla 2. Registro ambiental intraevento. 15K Adizero Buenos Aires 2026.

Hora	Min post-l.	WBGT (°C)*	T° bulbo seco (°C)†	HR (%)†	Viento (km/h)†	Clasif. WA
07:58	pre-l.	17,6	—	—	—	LOW
08:10	10	—	14,8	90	8	—
08:49	49	17,1	14,8	90	8	LOW
08:57	57	16,6	15,2	86	10	LOW
09:16	76	16,3	15,2	86	10	LOW
09:20	80	16,1	15,2	86	10	LOW
09:40	100	—	15,2	86	6	—
10:11	131	15,7	15,2	86	6	LOW
10:16	136	16,3	15,2	86	6	LOW

(*) Medidor WBGT dedicado. (†) Estación AcuRite Atlas 7-en-1. Clasif. WA: clasificación World Athletics (LOW: 10–18 °C; MODERATE: 18–22 °C; HIGH: 22–28 °C; EXTREME: >28 °C).

Paciente	Sexo	Edad	Nivel riesgo corredor*	Diagnóstico	Código	Resolución
P-003	M	38	ALTO	Trauma leve rodilla	VERDE	Alta campo
P-004	F	38	BAJO	Control signos vitales	VERDE	Alta campo
P-005	F	18	BASAL	Mareos / Náuseas	VERDE	Alta campo
P-006†	M	68	CRÍTICO	Control signos vitales	VERDE	Alta campo
P-007	F	53	MODERADO	Control signos vitales	VERDE	Alta campo

(*) Nivel de riesgo epidemiológico cardiovascular pre-evento (sexo × edad). Variable independiente del código de prioridad clínica del incidente. (†) Escalada al médico de ambulancia por precaución de perfil (H68, nivel CRÍTICO); sin hallazgo patológico; alta inmediata.

La tasa de demanda asistencial fue de 1,35/1.000 finishers (7/5.192).

Distribución espaciotemporal

El 100% de las atenciones se produjo en el Puesto de Primeros Auxilios del área de meta. No se registraron incidentes en el circuito. La distribución temporal abarca la ventana 09:15–10:18 h (minutos 75–138 post-largada), correlacionada con el flujo real de llegadas a meta. El pico de llegadas (chip timing: 09:29–09:34 h; 731 finishers en 5 minutos) fue precedido por las primeras atenciones y seguido por la mayor concentración de consultas. La correlación se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Distribución temporal de atenciones superpuesta con la curva de llegadas a meta 15K Adizero Buenos Aires 2026 — n = 5.192 finishers | n = 7 pacientes

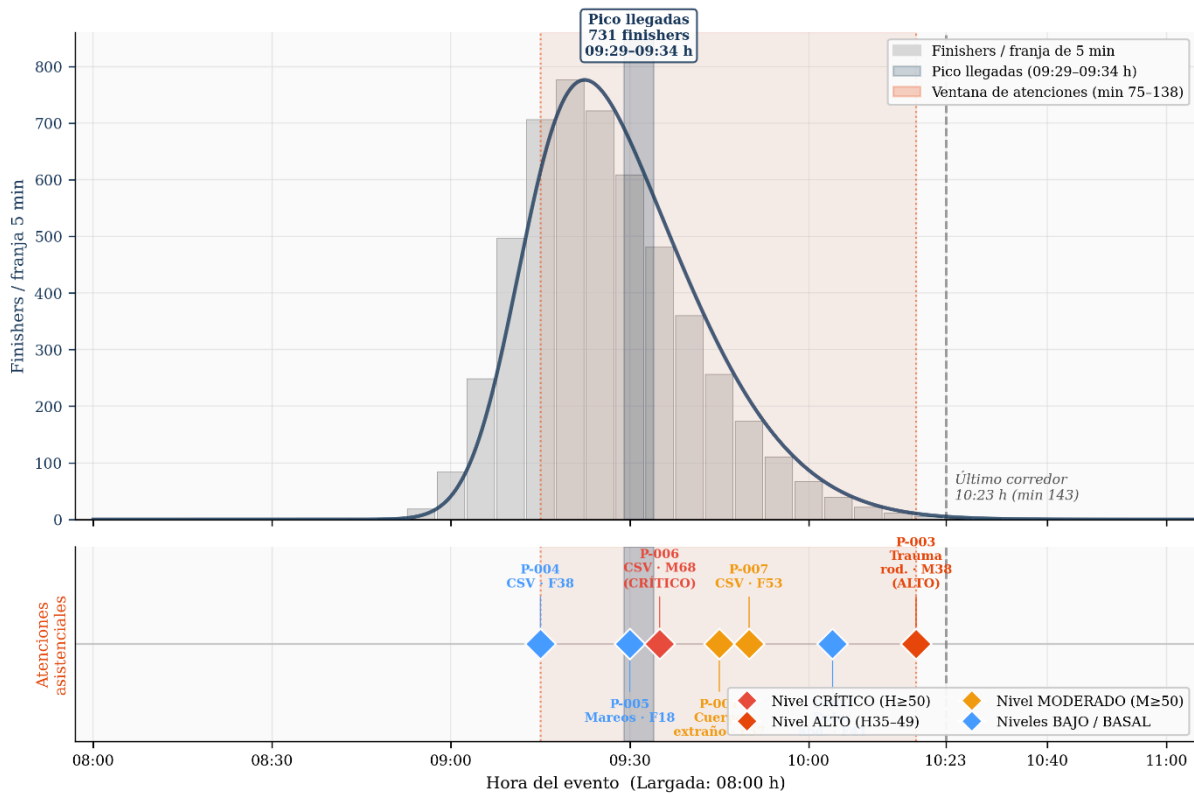


Figura 3. Distribución temporal de atenciones superpuesta con la curva de llegadas a meta. Barras grises: *N* finishers por franja de 5 minutos (eje Y izquierdo). Puntos naranjas: atenciones asistenciales (eje Y derecho).

Fuente: chip timing oficial + PRC-EMERTEAM-001. 15K Adizero Buenos Aires 2026.

Calibración del modelo predictivo

El modelo predijo 24 incidentes en 6 categorías; se registraron 7 pacientes. El EAM fue de 2,4 incidentes por tipo. El factor de sobrepredicción global fue $\times 3,4$. La categoría «otros» (CSV sin hallazgo, cuerpo extraño, mareos), no modelada en el protocolo inicial, representó el 71% de las atenciones reales (5/7).

Discusión

La sobrepredicción sistemática del modelo ($\times 3,4$) es coherente con la aplicación de tasas de referencia derivadas de eventos de mayor distancia y menor competitividad a un evento con el perfil específico de la Adizero 15K. Las tasas de Kipps et al.,⁵ Roberts⁶ y Matheson et al.⁷ se construyen sobre poblaciones con mayor proporción de corredores lentos y mayor exposición acumulada al calor, fatiga y deshidratación. Tres variables explicativas de la brecha fueron identificadas: (1) el perfil competitivo del campo fue significativamente superior al asumido (H35+ P90 real: 6:47 min/km vs. 9:00 min/km estimado), comprimiendo la ventana de exposición en ~24 minutos; (2) la humedad relativa real (86–90%) fue notablemente mayor a la proyectada (~75%), elevando el WBGT por encima del estimado (15,7–17,6 °C vs. 8–11 °C proyectados) a pesar de que la temperatura de bulbo seco real (14,8–15,2 °C) fue solo levemente superior a la proyectada (10–12 °C). El WBGT real se mantuvo en todo momento dentro de la categoría LOW de la escala World Athletics (10–18 °C), sin alcanzar el umbral MODERATE (18 °C) que implicaría recomendación de reducción del esfuerzo; (3) el denominador real de finishers (5.192) fue inferior al denominador de estimación (inscriptos: 5.845).

La distinción entre temperatura de bulbo seco y WBGT tiene relevancia metodológica directa. En condiciones de alta humedad (>85%) y temperatura moderada como las registradas el día del evento, el WBGT puede superar la temperatura de bulbo seco por efecto del componente de bulbo húmedo y de globo. El error predictivo ambiental del modelo no fue tanto en la temperatura del aire como en la humedad relativa, que determinó un WBGT en categoría LOW de World Athletics (15,7–17,6 °C) cuando el modelo proyectaba condiciones de WBGT más bajo (8–11 °C), también dentro de LOW pero en su rango inferior. Esto no generó incidentes de EHS, probablemente porque la ventana de exposición fue más corta de lo proyectado debido al perfil competitivo del campo.

La categoría diagnóstica dominante, no modelada en el protocolo inicial —control de signos vitales sin hallazgo patológico, cuerpo extraño en oído, mareos— revela una limitación conceptual del modelo: las tasas de la literatura capturan incidentes clínicamente relevantes, pero la demanda real incluye una proporción significativa de consultas de baja complejidad. Sewry et al.¹¹ reportaron que las consultas menores representan entre el 60 y el 75% de los

encuentros médicos en eventos de atletismo popular, hallazgo consistente con los datos de este estudio.

El hallazgo de mayor relevancia operativa es la concentración del 100% de las atenciones en el área de meta, sin registros en el circuito. Este resultado confirma la literatura previa que identifica el área post-finish como principal locus de demanda asistencial^{1,7} y tiene explicación fisiopatológica directa: el cese del ejercicio al cruzar la meta elimina el efecto de bomba muscular de los miembros inferiores, generando pooling venoso que puede precipitar colapso hemodinámico en individuos susceptibles.⁹ Esta dinámica es independiente del nivel de riesgo cardiovascular pre-evento, lo que explica la distribución de los incidentes entre los seis niveles del modelo sin concentración en los niveles CRÍTICO y ALTO.

La correlación entre la distribución temporal de las atenciones (minutos 75–138 post-largada) y la curva de llegadas a meta tiene implicancia operativa directa: el recurso de mayor capacidad resolutiva debe estar posicionado en el área de meta durante toda la ventana de llegadas. El hecho de que las tres escaladas de nivel asistencial se resolvieran en campo sin traslado valida el modelo de dispositivo implementado por EMERTEAM para este evento.

Entre las limitaciones del estudio se destacan: el N de pacientes (n=7) es insuficiente para validación estadística de tasas de baja frecuencia como el SCA; el pre-registro en OSF fue realizado la noche previa al evento (00:28 AM), con margen temporal reducido respecto al ideal metodológico; la disponibilidad de registros AcuRite en la ventana del evento fue parcial (4 registros), por lo que los valores de temperatura y humedad de algunas franjas horarias fueron interpolados al registro más cercano; y la generalización de los resultados está limitada a eventos con perfiles similares.

Conclusiones

El modelo predictivo EMERTEAM demostró precisión en los parámetros centrales de timing de carrera y sobrepredicción sistemática en la demanda asistencial total, atribuible principalmente al perfil competitivo del campo y a la mayor humedad relativa respecto a la proyectada.

La concentración del 100% de las atenciones en el área de meta, con distribución temporal correlacionada con la curva real de llegadas, constituye el hallazgo principal del estudio y tiene implicancia operativa directa para el posicionamiento de recursos en dispositivos de emergencias de carreras populares.

Los datos empíricos de la 15K Adizero Buenos Aires 2026 —tasa real: 1,35/1.000 finishers; temperatura bulbo seco: 14,8–15,2 °C; humedad: 86–90%; WBGT: 15,7–17,6 °C; H35+ P90: 6:47 min/km— constituyen la primera línea de base empírica del modelo EMERTEAM para este evento y el punto de partida para una serie prospectiva multicorrida en el área de medicina de eventos deportivos masivos.

Declaración de uso de inteligencia artificial

Los autores declaran haber utilizado el modelo de lenguaje Claude (Anthropic, versión Sonnet 4.6) como herramienta de asistencia para la estructuración del manuscrito, el procesamiento descriptivo de datos y la redacción de secciones del texto. Todas las decisiones metodológicas, la interpretación de resultados y la validación del contenido científico son responsabilidad exclusiva de los autores firmantes, en cumplimiento con la política editorial de la RAMP (artículo 12 de las instrucciones para autores).

Declaración de conflictos de interés

Diego Pizzini y Agustín Astorga son cofundadores de EMERTEAM, empresa cuyos dispositivos de emergencias son objeto del estudio. Este vínculo fue declarado en el pre-registro del protocolo. Los demás autores no declaran conflictos de interés.

Declaración de financiamiento

Este trabajo fue desarrollado en el marco de las actividades operativas e investigativas de EMERTEAM sin financiamiento externo. Los costos del registro de campo y el equipamiento ambiental fueron asumidos por EMERTEAM en el contexto de la prestación de servicios al organizador del evento.

Disponibilidad de datos

Los datos anonimizados de incidentes, el registro ambiental completo y el protocolo de investigación están disponibles en el repositorio OSF del estudio. El dashboard interactivo del evento está disponible en: <https://dpizzini-emerteam.github.io/poblaci-n-de-corredores/>

Referencias

1. Drezner JA, Rao AL, Heistand J, Bloomingdale MK, Harmon KG. Effectiveness of emergency response planning for sudden cardiac arrest in United States high schools with automated external defibrillators. *Circulation*. 2009;120(6):518–525.
2. Harmon KG, Asif IM, Maleszewski JJ, Owens DS, Prutkin JM, Salerno JC, et al. Incidence, cause, and comparative frequency of sudden cardiac death in National Collegiate Athletic Association Athletes. *Circulation*. 2015;132(1):10–19.
3. Kim JH, Malhotra R, Chiampas G, d'Hemecourt P, Troyanos C, Cianca J, et al. Cardiac arrest during long-distance running races. *N Engl J Med*. 2012;366(2):130–140.
4. Maron BJ, Haas TS, Ahluwalia A, Murphy CJ, Garberich RF. Demographics and epidemiology of sudden deaths in young competitive athletes. *Am J Med*. 2014;127(11):1121–1129.
5. Kipps C, Sharma S, Tunstall Pedoe D. The incidence of exercise-associated hyponatraemia in the London Marathon. *Br J Sports Med*. 2011;45(1):14–19.
6. Roberts WO. A 12-yr profile of medical injury and illness for the Twin Cities Marathon. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(9):1549–1555.
7. Matheson GO, Macintyre JG, Taunton JE, Clement DB, Lloyd-Smith R. Musculoskeletal injuries associated with physical activity in older adults. *Med Sci Sports Exerc*. 1989;21(4):379–385.
8. Marijon E, Tafflet M, Celermajer DS, Dumas F, Perier MC, Mustafic H, et al. Sports-related sudden death in the general population. *Circulation*. 2011;124(6):672–681.
9. Casa DJ, DeMartini JK, Bergeron MF, Csillan D, Eichner ER, Lopez RM, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional Heat Illnesses. *J Athl Train*. 2015;50(9):986–1000.
10. Hew-Butler T, Rosner MH, Fowkes-Godek S, Dugas JP, Hoffman MD, Lewis DP, et al. Statement of the 3rd International Exercise-Associated Hyponatremia Consensus Development Conference. *Clin J Sport Med*. 2015;25(4):303–320.
11. Sewry N, Wiggers T, Schwellnus M. Medical encounters among 94,033 race starters during a 16.1-km running event over 3 years in the Netherlands: SAFER XXVI. *Sports Health*. 2023;15(2):210–217.

- 12.** Schwellnus M, Kipps C, Roberts WO, et al. Medical encounters (including injury and illness) at mass community-based endurance sports events: an international consensus statement. *Br J Sports Med.* 2019;53(17):1048–1055.
- 13.** World Athletics. Medical Guidelines for Road Races. World Athletics Technical Publication; 2023.