"¡MI MOTOR SE ESTÁ SOBRECALENTANDO!": ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO PARA PILOTOS DE FÓRMULA 1

Peter J. McKnight, BSc, DipILM, CSCS, ASCC & Jonah T. McKnight, BTEC L3
DipProPath–Athlete Development Arm of Snö Performance, Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos

PUNTOS CLAVE

- Los pilotos de Fórmula 1 compiten durante 90 a 120 minutos en algunos de los entornos más calurosos del mundo, con temperaturas dentro del traje de carrera que superan los 50°C, y, sin embargo, el enfriamiento sigue siendo una de las áreas menos investigadas en la ciencia del automovilismo.
- La hipertermia afecta la función cognitiva, la toma de decisiones y el control motor fino, todos los cuales son críticos para conducir de manera rápida y segura a velocidades que superan los 300 km/h.
- El enfriamiento previo a la carrera del cuello, el cuerpo y las manos puede atenuar significativamente la tensión térmica y preservar el rendimiento cognitivo en el período previo a la competencia.
- La ventana óptima de enfriamiento previo a la carrera parece ser de 20 a 40 minutos antes del inicio con estrategias de enfriamiento combinadas (inmersión en agua fría seguida de prendas de enfriamiento) que resultan más efectivas que cualquier método por sí solo.
- La deshidratación agrava la carga fisiológica del estrés por calor y perjudica de manera independiente el rendimiento de conducción. La ingesta de líquidos durante la carrera, incluidas las bebidas frías o heladas, es una herramienta principal de enfriamiento disponible una vez que ha comenzado el evento.
- Las opciones durante la carrera se limitan a una prenda de enfriamiento perfundida por agua obligatoria y a la ingestión de líquidos. Evidencia reciente indica que la prenda de enfriamiento podría no atenuar, por sí sola, el aumento de la temperatura central, lo que subraya la importancia de las estrategias previas a la carrera.
- Los pilotos, sus entrenadores y el personal médico del equipo deben desarrollar protocolos de enfriamiento individualizados y basados en evidencia para cada fin de semana de "carrera calurosa".

INTRODUCCIÓN

Cuando un auto de Fórmula 1 se sobrecalienta, sus ingenieros tienen milisegundos para responder, ajustando los conductos de los radiadores, gestionando el balance de los frenos o instruyendo al piloto para que genere un espacio con el automóvil de adelante. La ironía es que el ser humano sentado dentro de ese auto también podría estar sobrecalentándose. Sin embargo, en la Fórmula 1, la ciencia de la termorregulación del conductor ha recibido apenas una fracción de la atención que se le dedica a la máquina. Esto está comenzando a cambiar a medida que un creciente cuerpo de investigación caracteriza tanto las demandas fisiológicas impuestas al piloto como las estrategias basadas en evidencia disponibles para protegerlos.

Una carrera de Fórmula 1 dura entre 90 y 120 minutos, y el piloto está encapsulado dentro de una cabina de fibra de carbono muy ajustada, usando un traje ignífugo de múltiples capas, guantes, pasamontañas y casco. Estas prendas son obligatorias por la Fédération Internationale de l'Automobile (FIA) por razones críticas de seguridad, y el traje de seguridad en sí no puede modificarse para incorporar tecnologías de enfriamiento o materiales de cambio de fase. Por lo tanto, las propiedades de seguridad del traje tienen un costo fisiológico inevitable y significativo, ya que reducen de manera sustancial o impiden la principal vía de disipación de calor del cuerpo: la sudoración evaporativa. El deporte compite a nivel mundial, visitando circuitos en Bahréin, Singapur, Arabia Saudita, Miami y Qatar, donde las temperaturas ambientales superan habitualmente los 30°C y las temperaturas de la superficie de la pista pueden superar los 50°C (Brearley & Finn, 2013). Bajo tales condiciones, las temperaturas medidas dentro del traje de competencia pueden exceder los 50°C (Brearley & Finn, 2013), creando un entorno que no se parece a casi ningún otro en el deporte de élite.

A diferencia de la mayoría de los atletas, los pilotos de Fórmula 1 no pueden disminuir la velocidad, quitarse la ropa, acceder a toallas frías o situarse a la sombra cuando sienten calor. Una vez que comienza la carrera, las opciones para manejar la carga térmica son extremadamente limitadas. Las consecuencias del sobrecalentamiento se extienden más allá de la incomodidad física. Las elevaciones en la temperatura central perjudican la función cognitiva, el tiempo de reacción, la

toma de decisiones y el control motor fino, todas las habilidades en las que confía un piloto de Fórmula 1 para navegar de manera segura un circuito a velocidades de hasta 340 km/h, a menudo separados por centímetros de los autos rivales (Gaoua et al., 2011). En casos extremos, las enfermedades relacionadas con el calor pueden resultar en la pérdida del conocimiento y, en el contexto de un auto de carreras, en accidentes potencialmente catastróficos.

Este artículo del Intercambio de Ciencias del Deporte examina el desafío térmico que enfrentan los pilotos de Fórmula 1, la base de evidencia para las estrategias de enfriamiento previas y durante la carrera, la contribución de la deshidratación a la tensión térmica y las implicaciones de seguridad muy reales de un manejo térmico inadecuado. El objetivo es traducir la evidencia científica disponible en una guía práctica para entrenadores, personal médico del equipo y los propios pilotos.

EL ENTORNO TÉRMICO EN LA FÓRMULA 1

Tyler et al. (2026) documentaron que durante la temporada 2025 de Fórmula 1, los pilotos enfrentaron un estrés térmico moderado (definido por el umbral del Índice Térmico Universal del Clima) en al menos siete de las 24 carreras de Gran Premio, incluyendo eventos en Bahréin, Arabia Saudita, Miami y Singapur, con temperaturas en la superficie de la pista que superaron los 45°C en varias sedes y temperaturas del aire en la cabina que se registraron entre 36 y 66°C (Tyler et al., 2026). Si bien los datos de temperatura central de los pilotos de Fórmula 1 no están disponibles debido a restricciones logísticas y regulatorias, los datos del automovilismo de cabina cerrada indican que puede aumentar entre 1.7 y 2.5°C por hora durante la carrera (Brearley & Finn, 2013; Watkins, 1995).

Los automóviles de Fórmula 1 son de cabina abierta, lo que significa que la cabeza del piloto está expuesta al flujo de aire durante la competencia. La cabina abierta proporciona cierto enfriamiento convectivo mientras el auto está en movimiento. Este enfriamiento desaparece durante las paradas en boxes, los períodos del auto de seguridad o en circuitos de baja velocidad como Mónaco. El traje ignífugo, las capas de ropa interior, los guantes y el casco crean un microclima alrededor del cuerpo del piloto que limita severamente el enfriamiento evaporativo, que es el mecanismo de disipación de calor más eficiente del cuerpo. Se han reportado tasas de sudoración de ~1 L/hora en pilotos de Fórmula 1 (Watkins, 1995).

Cuando el sudor no puede evaporarse de la piel ocluida por la ropa, brinda poco beneficio de enfriamiento y simplemente contribuye a la pérdida de líquidos. Más allá de la carga ambiental, los pilotos generan calor endógeno sustancial. Los pilotos de élite corren a ~65–75% del VO2max con un gasto calórico estimado de ~540 kcal en una carrera de monoplazas de 90 minutos (Tyler et al., 2026). Para un piloto de 70 kg con un pico de VO2pico de aproximadamente 62 ml/kg/min, esto corresponde a una producción de calor metabólico sostenida del orden de 400 a 600 W (McKnight et al., 2019). Debido a que el traje y el casco estipulados por la FIA reducen drásticamente la disipación evaporativa, esta carga endógena se combina con el entorno térmico de la cabina para impulsar el rápido aumento de la temperatura central que se observa en el automovilismo de cabina cerrada (Brearley & Finn, 2013).



Figura 1. Carga térmica y estrés térmico en un piloto de Fórmula 1. La carga térmica externa (1–3) actúa sobre un cuerpo cuya vía principal de enfriamiento está bloqueada por el traje y el casco obligatorios de la FIA (4). La producción sostenida de calor metabólico (5) y el sudor en gran medida no evaporativo (6) agravan el desafío. Las únicas medidas controladas por el piloto durante la carrera son el enfriamiento convectivo de la cabeza, disponible solo cuando el auto está en movimiento (7), y el chaleco de refrigeración obligatorio, perfundido con agua que cubre el torso (8).

CALOR, EL CEREBRO Y EL PELIGRO DEL SOBRECALENTAMIENTO A 300 KM/H

El cerebro es sumamente sensible a los cambios en la temperatura corporal, y una creciente cantidad de literatura demuestra que incluso las elevaciones modestas en la temperatura central pueden afectar de manera medible el rendimiento cognitivo (Gaoua et al., 2011; Racinais & Oksa, 2010). Esto es de primordial preocupación en la Fórmula 1, donde los pilotos deben gestionar simultáneamente su posición en la pista, reaccionar a los movimientos de los pilotos rivales, operar un volante complejo con más de 20 botones e interruptores, interpretar las comunicaciones de radio del equipo, gestionar las temperaturas de los neumáticos, las cargas de combustible y las estrategias de despliegue de la batería, y mantener la conciencia espacial de los autos que no siempre pueden ver; todo mientras viajan a velocidades que hacen que incluso un retraso de 100 ms en el tiempo de reacción sea significativo.

Elevaciones en la temperatura central de tan solo 0.8°C pueden perjudicar la coordinación mano-ojo y la capacidad de toma de decisiones en conductores de automóviles de pasajeros regulares (Wyon et al., 1996). Gaoua et al. (2011) encontraron que la función ejecutiva, la memoria de trabajo, la atención y la velocidad de procesamiento son vulnerables al deterioro inducido por el calor, particularmente una vez que la temperatura central excede los ~38.5 a 39°C. De manera crucial, estas alteraciones pueden ocurrir antes del inicio de la fatiga voluntaria o de los síntomas evidentes de enfermedad por calor. Esto significa que un piloto puede estar cognitivamente comprometido sin reconocerlo por completo. La exposición a ambientes calurosos y la encapsulación física aumentan la sensación subjetiva de fatiga, el malestar y el esfuerzo mental (Hancock & Vasmatzidis, 2003). Es importante destacar que las temperaturas corporales elevadas aumentan las tasas de error tanto en el laboratorio como en entornos ocupacionales (Staal, 2004).

La tolerancia fisiológica de un individuo a la aceleración gravitacional se atenúa significativamente cuando hay hipertermia. El trabajo fundamental de Nunneley y Stribley (1979) demostró que el estrés térmico redujo la tolerancia a la fuerza G en 0.3 G, un hallazgo mecanísticamente consistente con el marcado deterioro cardiovascular (disminución del gasto cardíaco, del volumen sistólico y de la presión arterial) que ocurre cuando la deshidratación se superpone a la hipertermia (González-Alonso et al., 1997). Un piloto con una capacidad disminuida para resistir las fuerzas G laterales y de frenado durante las curvas de la Fórmula 1 puede tener dificultades para mantener la cabeza estable. En consecuencia, la visión y la función vestibular pueden verse comprometidas, ambas esenciales para correr con seguridad (McKnight et al., 2019). En conjunto, un piloto que experimenta una tensión térmica significativa no solo está incómodo, sino que es probable que sea un piloto notablemente menos efectivo y menos seguro que su contraparte termoneutral. Esto hace que las estrategias de enfriamiento basadas en evidencia no sean solo una optimización del rendimiento, sino una intervención crítica de seguridad.

ENFRIAMIENTO PREVIO A LA CARRERA: LA VENTANA DE OPORTUNIDAD MÁS EFECTIVA

Debido a que las oportunidades de enfriamiento durante una carrera de Fórmula 1 son severamente limitadas, el período previo a la carrera representa la ventana principal dentro de la cual se puede establecer una protección térmica significativa. Al reducir la temperatura corporal central antes del inicio de la carrera, el piloto comienza el evento con una mayor 'reserva térmica', un amortiguador antes de alcanzar los umbrales críticos de deterioro fisiológico y cognitivo (Periard et al., 2021; Tyler et al., 2015).

Una revisión exhaustiva del enfriamiento previo por Tyler et al. (2015) demostró que las estrategias combinadas, que generalmente involucran inmersión en agua fría seguida de prendas de enfriamiento, son más efectivas que cualquier modalidad individual. Específicamente, la inmersión en agua fría reduce la temperatura central a través de la transferencia de calor conductivo, mientras que las prendas de enfriamiento atenúan el aumento posterior de la temperatura de la piel y reducen la tensión térmica percibida. Los tres entrenadores de Fórmula 1 entrevistados por Tyler et al. (2026) enfriaron a sus pilotos antes de las carreras calurosas. La inmersión en agua fría fue identificada como el método más efectivo, típicamente realizada aproximadamente una hora antes de la carrera, descrita como "lo más tarde que podemos hacerlo con base en el horario" (entrenador 2, citado en Tyler et al., 2026).

Enfriamiento del Cuello. El enfriamiento del cuello es de particular interés para los pilotos de Fórmula 1. El cuello es rico en termorreceptores y está cerca de las arterias carótidas. En consecuencia, el enfriamiento local del cuello tiene un efecto desproporcionadamente mayor sobre la comodidad térmica percibida en relación con la reducción de la temperatura central lograda (Nunneley et al., 1971; Tyler et al., 2015). Dada la gran masa del casco y el sistema cabeza-cuello (6.4 kg; Tyler et al., 2026) combinada con las demandas de fuerza G sobre la musculatura del cuello durante la carrera, cualquier intervención que reduzca la fatiga neuromuscular y el malestar térmico en esta región tiene un posible doble beneficio. Sin embargo, los profesionales deben tener en cuenta que el mecanismo primario parece ser perceptual, ya que un ensayo cruzado aleatorizado descubrió que usar un collarín lleno de hielo a lo largo del ejercicio en un calor de 35°C no produjo una

reducción significativa de la temperatura central, la frecuencia cardíaca o la pérdida de sudor, a pesar de que las sensaciones térmicas se percibieron significativamente más frescas (Ishizuka et al., 2025).

Enfriamiento Corporal a través de Chalecos de Hielo o Chaquetas de Enfriamiento. Los chalecos de hielo y las chaquetas de enfriamiento son los caballos de batalla del manejo térmico previo a la carrera. Los estudios en el ciclismo, carrera a pie y deportes de equipo demuestran de manera consistente que el enfriamiento previo con chaleco de hielo reduce la temperatura central, atenúa el aumento de la frecuencia cardíaca y el esfuerzo percibido durante el ejercicio subsecuente en el calor, y puede extender el tiempo hasta el agotamiento (Chan et al., 2017; Quod et al., 2008; Tyler et al., 2015). Los mecanismos clave son un margen ampliado de temperatura central antes de que se alcancen los umbrales fisiológicos críticos y una tasa atenuada de deriva cardiovascular (Chan et al., 2017). La duración recomendada del enfriamiento previo es de 20 a 40 minutos, y las duraciones más largas proporcionan mayores beneficios, pero generan rendimientos decrecientes al momento que comienza la carrera (Periard et al., 2021; Tyler et al., 2015).



Figura 2: Línea de tiempo recomendada para el protocolo de enfriamiento previo a la carrera. Aplicación en capas de inmersión en agua fría, chaleco de hielo/refrigerante y enfriamiento de cuello y manos en la parrilla final, completado al entrar al auto. Cada modalidad contribuye con un efecto distinto sobre la temperatura central o de la piel, la tensión cardiovascular o el enfriamiento de todo el cuerpo. El beneficio acumulativo supera el de cualquier método individual (Periard et al., 2021; Tyler et al., 2015, 2026).

Enfriamiento de las Manos. El enfriamiento de las manos es una herramienta menos intuitiva pero valiosa. La superficie palmar contiene una alta densidad de anastomosis arteriovenosas que permiten un intercambio de calor eficiente, y enfriar las manos a través de guantes de agua fría o dispositivos de inmersión puede ofrecer un enfriamiento sistémico significativo y mejoras en el rendimiento de resistencia (Bongers et al., 2015; Grahn et al., 2005). De forma exclusiva, el enfriamiento de las manos puede mantenerse hasta el momento en que el conductor se pone los guantes, maximizando la duración del beneficio térmico.

Protocolo Recomendado. El enfriamiento previo a la carrera debe completarse lo más cerca posible del inicio de la carrera según lo permita la logística (Tyler et al., 2015). La evidencia y la práctica actual apoyan un enfoque en capas:

1) Inmersión en agua fría (10 a 15°C, 15 a 20 min) aproximadamente 45 a 60 minutos antes de la carrera.
2) Transición inmediata a un chaleco de hielo y envoltura de enfriamiento para el cuello, usados hasta la entrada al auto.
3) Enfriamiento de las manos en los 10 a 20 minutos finales antes de abordar.

Este enfoque combinado y sucesivo aborda la reducción de la temperatura central, el manejo sostenido de la temperatura de la piel y el enfriamiento hasta el último momento posible.

ENFRIAMIENTO DURANTE LA CARRERA: TRABAJANDO CON LO QUE TIENES

Una vez que comienza la carrera, las opciones para manejar la tensión térmica están extremadamente limitadas por las normas de seguridad. El reglamento deportivo de la FIA prohíbe la adición de ventiladores o cualquier dispositivo de enfriamiento activo al automóvil, y no se permite ninguna intervención de enfriamiento externo una vez que la carrera está en curso. Solo quedan dos herramientas: la prenda preajustada de enfriamiento líquido con circulación de agua que se usa debajo del traje, y la ingesta de líquidos. El sistema de enfriamiento, a menudo llamado coloquialmente "Cool Shirt" (Camisa Fría), es una prenda interior irrigada por agua que cubre el torso (pecho, espalda y parte superior de los brazos). Las piernas no están irrigadas, aunque los diseños continúan evolucionando. A partir de la temporada 2025, la prenda de enfriamiento circulante de agua es obligatoria cuando la carrera es declarada como un "riesgo de calor" (temperatura ambiente pronosticada de ≥31°C). A partir de 2026, todos los pilotos deberán usar la prenda a medida de enfriamiento líquido en todos los eventos, sin importar la temperatura pronosticada, aunque su activación sigue siendo a discreción del piloto (Tyler et al., 2026).

Ingesta de Líquidos: Enfriando Desde Adentro. Beber líquidos fríos o con hielo durante el ejercicio en calor proporciona una reducción significativa, aunque modesta, de la temperatura central. El líquido ingerido más frío que la temperatura corporal debe calentarse, absorbiendo energía térmica del centro del cuerpo (Siegel et al., 2010). Bird et al. (2025) demostraron esto directamente con ocho pilotos de carreras que completaron carreras simuladas de 120 minutos a 40°C y 50% de humedad vestidos con el atuendo completo de la FIA. El agua fría (5°C) produjo un aumento significativamente menor en la temperatura central en comparación con el líquido a temperatura ambiente (1.17 frente a 1.69°C). Los ocho pilotos completaron la prueba de agua fría en contraste con solo dos en la condición ambiente. Además, el líquido frío se consumió en volúmenes sustancialmente mayores, mientras que el líquido caliente fue calificado como desagradable. El hielo picado, que absorbe más calor al derretirse en el intestino, redujo la temperatura central en ~0.3 a 0.5°C en relación con el agua fría y prolongó el tiempo de resistencia hasta el agotamiento (Siegel et al., 2010; Tyler et al., 2013). El sistema manual de bebida convencional tiende a producir una ingesta irregular en grandes tragos (bolos). Una investigación en simulador con 20 pilotos profesionales de élite descubrió que esto resultó en una mayor hipohidratación y tiempos de vuelta 4.1% más lentos en relación con un sistema de manos libres mediante indicaciones, a pesar de consumir volúmenes equivalentes de líquido (Ferguson et al., 2023). Se recomienda a los entrenadores y dietistas deportivos trabajar con los pilotos para identificar fórmulas de líquidos que sean agradables al paladar, optimizar la temperatura de la botella y practicar el consumo de bebidas durante las sesiones del simulador.

La "Cool Shirt" obligatoria plantea interrogantes importantes. El primer ensayo controlado y revisado de a pares de tecnologías de enfriamiento para pilotos, financiada por el equipo Mercedes-AMG Petronas Formula 1, arrojó un hallazgo contraintuitivo. La Cool Shirt no solo fracasó en reducir la temperatura central frente a un control sin enfriamiento, sino que además se asoció con una temperatura central más alta (38.58 frente a 38.32°C) luego de 60 minutos de ejercicio a 32°C y 80% de humedad usando el atuendo con la especificación completa de la FIA (Davis et al., 2026). Un dispositivo de soplador de traje produjo la temperatura central más baja (37.51°C), aunque actualmente no está sancionado para uso en Fórmula 1. La Cool Shirt atenuó la temperatura de la piel, pero su aparente exacerbación de la carga de calor central en relación con la falta de enfriamiento levanta preguntas serias sobre si resulta adecuada como la única intervención obligatoria. El mecanismo detrás de este resultado paradójico es probablemente un efecto de retroalimentación negativa en la termorregulación. El enfriamiento de los termorreceptores cutáneos señala al área preóptica del hipotálamo para que reduzca las respuestas de pérdida de calor (vasodilatación cutánea y sudoración), atrapando así el calor metabólico endógeno en el centro del cuerpo (Ishizuka et al., 2025). Davis et al. (2026) anotaron además que los participantes reportaron que la prenda "se calentaba" después de ~30 minutos, sugiriendo que la capacidad de enfriamiento disminuye conforme el reservorio del enfriador se ve abrumado por la carga térmica. La combinación de un enfriamiento endógeno atenuado y la disminución del enfriamiento del dispositivo explican plausiblemente la temperatura central final más elevada que se observó en caso usando Cool Shirt.

Tres hallazgos adicionales de Davis et al. (2026) merecen la atención de los equipos de Fórmula 1. En primer lugar, la eficacia de la Cool Shirt decayó después de ~30 min, una limitación importante para carreras que duran de 90 a 120 minutos. En segundo lugar, a pesar de producir la temperatura central más alta y mayores valores de tensión fisiológica, más participantes terminaron la prueba en la condición de Cool Shirt que en la de no enfriamiento, indicando que la sensación de enfriamiento puede enmascarar el deterioro fisiológico y, en un auto de carreras, esta disociación conlleva un riesgo de seguridad real. En tercer lugar, las fallas del sistema se han observado en aproximadamente el ~15% de los eventos de

deportes de motor durante 15 años de investigación de campo, aunque esto aplica sobre todo al sistema Rini que se utiliza en la serie de Norteamérica. Los equipos de Fórmula 1 usan prendas hechas a la medida con una confiabilidad potencialmente diferente, pero las verificaciones rigurosas del sistema previo al evento son esenciales. Los equipos deberían tratar a la Cool Shirt obligatoria como un requisito normativo mínimo e invertir en optimizar la temperatura y el flujo del líquido refrigerante mientras se superponen con estrategias previas a la carrera.

DESHIDRATACIÓN: UN FACTOR AGRAVANTE

La deshidratación y la hipertermia no son factores estresantes independientes. Las pérdidas de fluidos reducen el volumen de plasma circulante, comprometiendo la función cardiovascular y limitando la capacidad del cuerpo para dirigir sangre a los músculos contráctiles, así como a la piel para la disipación de calor (Sawka et al., 2015; Kenefick et al., 2010). Las pérdidas de masa corporal del 2% o más deterioran el rendimiento en los deportes de resistencia, e incluso una deshidratación leve (1%) puede aumentar los errores de conducción en conductores que no son de élite (Watson et al., 2015). La deshidratación también deteriora el desempeño neuromuscular, la capacidad aeróbica y la tolerancia a la aceleración gravitacional (Sawka et al., 2015), y el hallazgo clásico de que la deshidratación agrava las reducciones en la tolerancia G inducidas por el calor (Nunneley & Stribley, 1979) es de suma relevancia directa. Un piloto que inicia la carrera con deshidratación, enfrenta una termorregulación alterada y una resiliencia reducida a la fuerza G al mismo tiempo. Si la tolerancia gastrointestinal lo permite, el líquido durante la carrera debe contener carbohidratos (~30 a 60 g/h) y sodio (~0.5 a 0.7 g/L) para contribuir a preservar el glucógeno y retener líquidos, considerando la carga metabólica que ronda el ~65 al 75% del VO_{2max} reportada durante la carrera (Tyler et al., 2026). Todos los entrenadores entrevistados por Tyler et al. (2026) destacaron la importancia de la ingesta de carbohidratos, a pesar de la falta de directrices específicas para el automovilismo deportivo.

Las tasas de sudoración de ~1 L/hora han sido reportadas en pilotos de Fórmula 1 (Watkins, 1995), lo que implica que a lo largo de una carrera de 90 a 120 minutos, un piloto podría perder entre 1.5 y 2.0 L de fluido, aproximándose al umbral donde se deteriora el rendimiento. Los pilotos deben llegar al circuito bien hidratados, controlando el color de la orina como indicador práctico, consumir 5 a 7 mL/kg de masa corporal al menos 4 horas antes de comenzar la carrera, y llevar a cabo pruebas de la tasa de sudoración en condiciones ambientales representativas de los circuitos para establecer objetivos de fluidos realistas para la carrera.

SEGURIDAD: MÁS ALLÁ DEL RENDIMIENTO, UN ASUNTO DE VIDA O MUERTE

En la Fórmula 1, donde un breve momento de descuido cognitivo o de duda puede generar una colisión a velocidades por arriba de los 300 km/h, el mal manejo térmico no es únicamente un asunto de rendimiento, sino que puede ser una amenaza para la vida. Las enfermedades por calor abarcan un espectro que va desde calambres por calor, pasa por el agotamiento, hasta llegar al golpe de calor por esfuerzo, el cual se define como una temperatura central superior a 40°C acompañada de disfunción del sistema nervioso central (Casa et al., 2015). En un automóvil de carreras, la respuesta médica convencional de apartar al piloto de la fuente de calor e iniciar un enfriamiento acelerado requiere que éste primero detenga el coche de forma segura, originando una ventana crítica de exposición continua al calor. El Gran Premio de Qatar de 2023, durante el cual varios pilotos precisaron de atención médica y por lo menos uno abandonó la carrera debido a un padecimiento vinculado al calor, instó a la FIA a realizar una revisión oficial de las condiciones de carrera en calor extremo, y así decretar mejores previsiones de enfriamiento a partir del 2025–2026 (Tyler et al., 2026). Los síntomas reportados en un grupo de pilotos incluyeron deshidratación severa, vómitos dentro del casco, visión borrosa y pérdida casi total del conocimiento mientras se manejaba: uno de los ejemplos modernos más evidentes de estrés por calor abrumando a atletas de élite en excelentes condiciones físicas y bajo un entorno controlado. La reacción regulatoria, por muy bienvenida que sea, no exime al equipo de la necesidad de establecer un manejo térmico individualizado.

El personal médico y los entrenadores del equipo necesitan mantener una conciencia acerca del estado de hidratación de todos los pilotos, de las condiciones ambientales, y de los factores de riesgo personales frente a enfermedades por calor, lo cual incluye padecimientos recientes, alteraciones del sueño y las exigencias del viaje, durante la víspera de todo fin de semana de carreras en clima cálido.

A pesar de estos estresores, los incidentes graves a raíz del calor en la Fórmula 1 siguen siendo poco comunes. Tres elementos justifican de manera factible esta situación. En primer lugar, los pilotos gozan de un acondicionamiento aeróbico muy alto (VO2pico es de ~62 ml/kg/min en conductores de élite; McKnight et al., 2019), confiriéndoles mayor tolerancia ante el calor y una reserva de termorregulación más extensa a diferencia del público general.

En segundo lugar, en la actualidad todos los pilotos de élite realizan programas estructurados de aclimatación térmica (comúnmente de sesiones de 60 minutos, efectuadas de 5 a 10 días previos a carreras calurosas), enfriamiento antes de la carrera y planes de hidratación adecuadamente ensayados (Tyler et al., 2026). En tercer lugar, el diseño con la cabina abierta otorga enfriamiento convectivo a la cabeza del piloto en todo momento que el automóvil se encuentra circulando. El Gran Premio de Qatar del 2023 demuestra lo que pasa si dichas capas protectoras son inadecuadas. La confluencia de una altísima humedad, un itinerario atestado y un inusual periodo prolongado de carreras sin auto de seguridad terminaron empujando a varios corredores más allá de sus límites de resistencia térmica, originando la ulterior acción normativa. Más allá de brindar resguardo a los conductores carrera a carrera, las mejoras en los sistemas y estrategias de enfriamiento acarrean también repercusiones para el deporte en general. Contar con un control del calor más eficaz incrementa las opciones para la FIA al instante de programar los horarios de carreras y al momento de elegir las distintas sedes, y esto disminuye el requerimiento de tener que hacer la programación alrededor de los horarios y de los meses más candentes.

RESUMEN Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Los pilotos de Fórmula 1 encaran un reto en materia de temperatura que es posiblemente inigualable dentro de los deportes de élite: intenso calor en el ambiente, portar un atuendo de protección totalmente hermético y con propiedades aislantes, carreras que rondan entre 90 a 120 minutos, y la escasez casi total de una alternativa de enfriamiento mientras ocurre la competencia a excepción de la bebida de líquidos. Las secuelas de una mala administración térmica como deterioro cognitivo, declive de la tolerancia frente a la fuerza G e incremento en la susceptibilidad al daño por el calor, acarrean fuertes consecuencias para la seguridad al máximo nivel de los campeonatos de carreras del deporte del motor.

La evidencia que se encuentra a la mano sostiene las siguientes sugerencias prácticas:

Previo a la carrera:

- Realizar inmersiones de agua fría (10 a 15°C, por 15 a 20 minutos) en torno de 45 a 60 minutos de antelación al inicio de la carrera.
- Colocar un chaleco de hielo o una prenda con efecto refrigerante apenas termine la inmersión en frío y portarlo durante todo el rato antes de abordar el automóvil.
- Utilizar un aditamento o collar en el cuello con hielo en el transcurso de las actividades en la línea de salida previa al inicio de la carrera.
- Implementar protocolos para refrescar las manos (con manoplas frías o implementos con agua fresca) los últimos 10 a 20 minutos previos a ingresar al carro.
- Asistir a las pistas debidamente hidratado, buscando que la orina adquiera un color amarillo pálido, a la par de ingerir de 5 a 7 mL/kg de masa corporal con por lo menos 4 horas del inicio de la carrera.

Durante la carrera:

- Cargar las botellas de bebida con líquidos fríos o helados. Analizar la idea de emplear hielos tipo granizados para maximizar la entalpía y enfriar.
- Verificar que la "Cool Shirt" obligatoria funcione, haciendo una rigurosa inspección antes de las competencias que tendrán climas agobiantes. Aun cuando bajan la temperatura en el exterior del cuerpo, la literatura nos avisa que no mitigará y que al contrario puede intensificar la subida de los grados dentro del núcleo orgánico en contraste con la falta de sistemas de enfriamiento a lo que hay que sumar que el rendimiento desciende al pasar ~30 min (Davis et al., 2026). Se aconseja tomarlo a cuenta de simple prerrequisito normativo y complementarlo con métodos de refrigeración previos a la carrera.
- Entrenar bebiendo líquidos cuando se hagan sesiones en simulador y en días de prueba.

Después de la carrera:

- Iniciar enfriamiento activo inmediatamente: retirar el casco, trajes de seguridad y guantes, y desplazarse a ambientes fríos.
- Rehidratarse de inmediato bebiendo volúmenes de líquido similares al número estimado de pérdidas de sudor.

La ciencia de la refrigeración en la Fórmula 1 se encuentra en una etapa incipiente. Los profesionales deben apoyarse en la literatura más amplia sobre estrés térmico y precooling, así como en la experiencia adquirida con esfuerzo por los entrenadores de élite, para proteger la salud y el rendimiento de estos atletas extraordinarios. En la Fórmula 1, el piloto no es solo el componente más costoso del automóvil, sino también el único que no puede ser reemplazado durante una carrera.

Las opiniones expresadas son las de los autores y no reflejan necesariamente la posición o política de PepsiCo, Inc.

REFERENCIAS:

Bongers, C.C., T.M. Hopman, and T.M. Eijsvogels (2015). Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. Temperature 2:60–78.

Bird, S.R., O. Troynikov, C. Watson, M. Cohen, and S. Sostaric (2025). Cold water ingestion ameliorates increase in core temperature and discomfort during simulated motor racing in a hot environment: a randomized trial. Front. Sports Act. Living 7:1514963.

Brearley, M., and J. Finn (2013). Responses of professional racing drivers to high speed racing in hot conditions. J. Sci. Med. Sport 16:26–31.

Casa, D.J., B.P. DeMartini, M.F. Bergeron, D. Csillan, E.C. Eichner, R.M. Lopez, M.S. Ferrara, K.M. Miller, F.G. O'Connor, M. Sawka, and S.A. Yeargin (2015). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional heat illnesses. J. Athl. Train. 50:986–1000.

Chan, A.P.C., Y. Yang, W.F. Song, and D.P. Wong (2017). Hybrid cooling vest for cooling between exercise bouts in the heat: effects and practical considerations. J. Therm. Biol. 63:1–9.

Davis, A.R., J. Breach-Teji, A.L. Faltus, A.E. Boettcher, G.D. Gulbransen, S. Marchal, G.M. Pluszczynski, S. Xhaja, and D.P. Ferguson (2026). Driver cooling strategies to mitigate heat illness in motorsports: physiological impacts and recommendations. Med. Sci. Sports Exerc. Online ahead of print. PMID 41774482,

Ferguson, D.P., P.R. Alex, J.M. Castrucci, A.M. Akouri, G.R. Januszewski, J.D. Danes, and F.L. Houck (2023). Prompted hands-free drinking improves simulated race car driving in a hot environment. J. Sports Sci. 41:1093–1106.

Gaoua, N., C. Grantham, S. Racinais, and F. Ihsan (2011). Sensory displeasure reduces complex cognitive performance in the heat. J. Environ. Psychol. 31:158–163.

González-Alonso, J., R. Mora-Rodríguez, P.R. Below, and E.F. Coyle (1997). Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. J. Appl. Physiol. 82:1229–1236.

Grahn, D.A., V.H. Cao, and H.C. Heller (2005). Heat extraction through the palm of one hand improves aerobic exercise endurance in a hot environment. J. Appl. Physiol. 99:972–978.

Hancock, P.A., and I. Vasmatzidis (2003). Effects of heat stress on cognitive performance: The current state of knowledge. Int. J. Hypertherm. 19:355–372.

Ishizuka, K., C. Nagano, M. Togawa, K. Kado, K. Tajima, K. Mori, and S. Horie (2025). Inefficacy of neck cooling in suppressing core body temperature elevation during exercise in a hot environment: a randomized cross-over trial. Environ. Health Prev. Med. 30:60.

Kenefick, R.W., S.N. Cheuvront, L.J. Montain, and M.N. Sawka (2010). The effects of fluid regulation on cognitive and physical performance. In: Stellingwerff, T., and R.J. Maughan (eds.), Nutrition and the Athlete. Human Kinetics, Champaign, IL.

McKnight, P.J., L.A. Bennett, J.J. Malvern, and D.P. Ferguson (2019). VO2peak, body composition, and neck strength of elite motor racing drivers. Med. Sci. Sports Exerc. 51:2563–2569.

Nunneley, S.A., S.J. Dowd, and P. Dennis (1971). Facial cooling: Effects on physiology and comfort during hyperthermia. Aerosp. Med. 42:148–152.

Nunneley, S.A., and R.F. Stribley (1979). Fighter index of thermal stress: Guidance for hot-weather operations. Aviat. Space Environ. Med. 50:639–642.

Periard, J.D., S. Racinais, N. Timpka, J. Dahlström, J. Sprenger, A.R. Mortensen, and R. Budgett (2021). Strategies and factors associated with preparing for competing in the heat: A cohort study at the 2015 IAAF World Athletics Championships. Br. J. Sports Med. 55:56–62.

Quod, M.J., D.T. Martin, P.B. Laursen, A.S. Gardiner, S.L. Halson, F.E. Narino, M.T. Pate, D.E. Mainwaring, C.J. Gore, and A.G. Hahn (2008). Practical pre-cooling: effect of cycling time trial performance in warm conditions. J. Sports Sci. 26:1477–1487.

Racinais, S., and J. Oksa (2010). Temperature and neuromuscular function. Scand. J. Med. Sci. Sports Exerc. 20(Suppl 3):1–18.

Sawka, M.N., W.A. Latzka, S.J. Montain, B.S. Cadarette, S.N. Kolka, K.K. Kraning, and R.R. Gonzalez (2015). Physiologic tolerance to uncompensable heat stress: Effects of exercise intensity, protective clothing, and climate. J. Appl. Physiol. 77:216–222.

Siegel, R., J. Mate, M.B. Brearley, G. Watson, K. Nosaka, and P.B. Laursen (2010). Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. Med. Sci. Sports Exerc. 42:717–725.

Staal, M.A. (2004). Stress, cognition, and human performance: A literature review and conceptual framework. NASA Technical Memorandum TM-2004-212824.

Tyler, C.J., J. Wild, and C. Benson (2013). Practical cooling method efficacy and comfort in an athletic setting. J. Sports Sci. 31:1014–1024.

Tyler, C.J., C. Sunderland, and S.S. Cheung (2015). The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: A meta-analysis. Br. J. Sports Med. 49:7–13.

Tyler, C.J., L. Felton, A. Ferrari, K. Keedle, R. Manwaring, and A. Buoite Stella (2026). Physiological and health demands of Formula 1 motor racing: a comprehensive review with driver performance coach insight. Br. J. Sports Med. Online ahead of print. PMID 41708274.

Watkins, E.S. (1995). The physiology and pathology of formula one Grand Prix motor racing. Clin. Neurosurg. 46:288–300.

Watson, P., A. Whale, S.A. Mears, L.A. Reyner, and R.J. Maughan (2015). Mild hypohydration increases the frequency of driver errors during a prolonged, monotonous driving task. Physiol. Behav. 147:313–318.

Wyon, D.P., I. Wyon, and F. Norin (1996). Effects of moderate heat stress on driver vigilance in a moving vehicle. Ergonomics 39:61–75.