

Maquinaria y vehículos eléctricos con baterías de ion-litio en la industria: riesgos, normativas y mejores prácticas

Recomendaciones de seguridad para primeros y segundos respondedores de emergencias públicas y privada

Mayo de 2025

CODIGO RESCATE CHILE www.codigorescate.org

Contenido

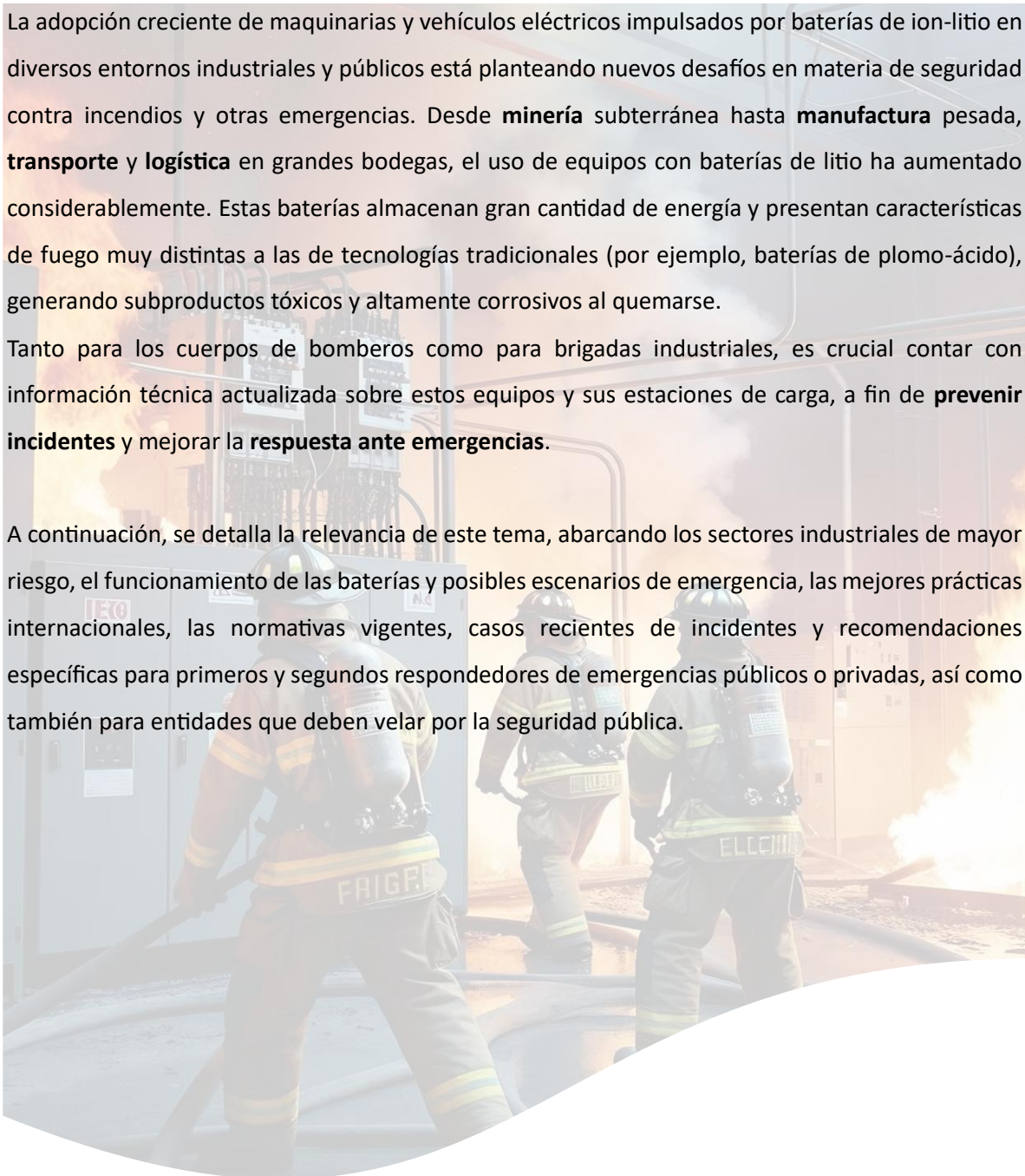
Introducción.....	2
Sectores industriales de mayor riesgo con maquinaria eléctrica y baterías de litio.....	3
Funcionamiento de las maquinarias y escenarios de emergencia con baterías de litio.....	5
Principales causas de fallo y disparo de emergencias:.....	5
Fuga térmica y características del incendio:.....	7
Incendios de baterías versus incendios convencionales:.....	7
Mejores prácticas internacionales de prevención y respuesta.....	9
Medidas de prevención y mitigación de riesgos (dentro de las industrias):.....	9
Mejores prácticas de respuesta a emergencias con baterías de litio:.....	12
Técnicas de manejo durante la emergencia:.....	13
Normativas y políticas públicas relevantes.....	16
Normativas internacionales (NFPA, IEC, UL):.....	16
Estándares IEC y esfuerzos en la Unión Europea:.....	16
Lineamientos de OSHA y organismos laborales:.....	17
Casos e incidentes recientes en entornos industriales.....	20
Recomendaciones para brigadas de emergencia y bomberos.....	23
Conclusión.....	26
Fuentes:.....	27
Links de artículos:.....	28

Introducción

La adopción creciente de maquinarias y vehículos eléctricos impulsados por baterías de ion-litio en diversos entornos industriales y públicos está planteando nuevos desafíos en materia de seguridad contra incendios y otras emergencias. Desde **minería** subterránea hasta **manufactura** pesada, **transporte** y **logística** en grandes bodegas, el uso de equipos con baterías de litio ha aumentado considerablemente. Estas baterías almacenan gran cantidad de energía y presentan características de fuego muy distintas a las de tecnologías tradicionales (por ejemplo, baterías de plomo-ácido), generando subproductos tóxicos y altamente corrosivos al quemarse.

Tanto para los cuerpos de bomberos como para brigadas industriales, es crucial contar con información técnica actualizada sobre estos equipos y sus estaciones de carga, a fin de **prevenir incidentes** y mejorar la **respuesta ante emergencias**.

A continuación, se detalla la relevancia de este tema, abarcando los sectores industriales de mayor riesgo, el funcionamiento de las baterías y posibles escenarios de emergencia, las mejores prácticas internacionales, las normativas vigentes, casos recientes de incidentes y recomendaciones específicas para primeros y segundos respondedores de emergencias públicos o privadas, así como también para entidades que deben velar por la seguridad pública.



Colabora y Certifica:



Sectores industriales de mayor riesgo con maquinaria eléctrica y baterías de litio

Diversos sectores industriales están incorporando vehículos y maquinarias eléctricas con baterías de ion-litio, pero algunos presentan **riesgos particularmente elevados** debido a la naturaleza de sus operaciones y entornos:

- ❖ **Minería (subterránea y a cielo abierto):** La minería está adoptando vehículos eléctricos de gran tamaño (camiones, cargadores frontales, equipos de perforación) para reducir emisiones en galerías y túneles. Un ejemplo notable fue el primer incendio documentado de un vehículo eléctrico de batería (BEV) en una mina subterránea de Canadá en 2020. Este incidente sirvió de **alerta** para la industria minera, que hasta entonces solo había enfrentado incendios en equipos diésel. En entornos subterráneos, un fuego de batería conlleva riesgo extremo por el **espacio confinado** (acumulación de calor y gases tóxicos) y la **dificultad de evacuación**, pudiendo dejar atrapados a trabajadores si el equipo incendiado bloquea rutas de escape. La intensa reacción de las baterías cuando entran en combustión y la producción de humo tóxico obligan a procedimientos especiales de rescate (en el caso canadiense, los trabajadores sobrevivieron usando líneas de aire comprimido mientras llegaba el equipo de rescate). La creciente adopción de vehículos y maquinaria eléctrica en minería ha motivado incluso simposios específicos sobre seguridad, enfocados en *mitigar riesgos* conforme aumenta el uso de estas tecnologías en minas.
- ❖ **Manufactura pesada e industria manufacturera:** Fábricas y plantas industriales están utilizando vehículos eléctricos de mantenimiento (como grúas horquilla, montacargas con baterías de litio, robots móviles autónomos y plataformas de transporte eléctrico). En particular, las **grúas horquillas eléctricas** con baterías de ion litio, se han vuelto comunes en líneas de producción y bodegas, gracias a su eficiencia y menor mantenimiento comparado con baterías tradicionales. Sin embargo, estos equipos introducen riesgos nuevos: las baterías de gran capacidad en interiores implican una fuente de ignición poderosa en caso de fallo, sumada a la presencia de materiales combustibles propios de procesos industriales (por ejemplo, embalajes, químicos o polvo combustible). Choques o golpes accidentales de montacargas contra estanterías u obstáculos pueden dañar físicamente las baterías y desencadenar incendios internos si se perfora una celda. Asimismo, la **carga rápida** y uso intensivo generan calor; si la ventilación es insuficiente, aumenta el riesgo de sobrecalentamiento.
- ❖ **Logística y centros de distribución:** El sector logístico (almacenes de grandes dimensiones, centros de distribución, instalaciones portuarias) emplea multitud de vehículos eléctricos para manejo de carga (montacargas, transpaletas, grúas pórtico eléctricas en puertos, etc.). Estos entornos concentran **altas densidades de mercancías combustibles** apiladas, de modo que un incendio originado en la batería de un equipo puede propagarse rápidamente al contenido del almacén. Además, es común tener **estaciones de carga** con múltiples equipos conectados, elevando la carga eléctrica y, en caso de fallo, el potencial de un incendio



múltiple. Un caso típico es el de almacenes logísticos donde operan montacargas de litio: se han presentado incendios en baterías durante la recarga en bodegas, que afortunadamente pudieron ser controlados con extintores portátiles antes de desencadenar un incendio mayor. No obstante, si el fuego no se detecta a tiempo, las consecuencias podrían ser severas dada la gran cantidad de material combustible circundante (cajas, pallets, productos almacenados, etc.).

• **Otros sectores:** Incluyen **puertos y aeropuertos** (que empiezan a usar tractores de arrastre y manipuladores de contenedores eléctricos), la **construcción** (excavadoras y cargadores compactos eléctricos en obras) y cualquier industria que implemente sistemas de **almacenamiento de energía** o grandes UPS de litio para respaldo eléctrico. En puertos y aeropuertos, las operaciones 24/7 y la presencia de equipamientos de alta tensión agregan complejidad a la respuesta de emergencia. En centros de datos o instalaciones de telecomunicaciones, las baterías de ion-litio pueden encontrarse en sistemas estacionarios de respaldo; su concentración en un espacio cerrado representa un escenario de riesgo similar al industrial. Cada uno de estos entornos demanda que los bomberos locales conozcan la **ubicación** y naturaleza de los equipos de batería presentes, para anticipar la estrategia de combate en caso de incidente. Especial atención presentan las instalaciones de **estacionamientos** y con mayor preocupación los **estacionamientos bajo superficie o edificios de estacionamientos**, si bien no se representan como un sector industrial, reciben BEVs e infraestructura de recarga lo que indudablemente presenta una condición de riesgo que debe ser enfrentada.

En suma, sectores como minería, manufactura, industria, transportes, logística y estacionamientos son prioritarios en cuanto a **información preventiva** para bomberos, ya que combinan un *alto uso de baterías de litio* con condiciones que pueden agravar un incendio (espacios confinados, alta carga de fuego circundante, dificultades de acceso o evacuación). Contar con **mapas de riesgo actualizados** –identificando qué instalaciones industriales tienen maquinaria de ion-litio, en qué condiciones operan y con que recursos cuentan ante una emergencia– es fundamental para planificar la respuesta de forma segura y efectiva.



Funcionamiento de las maquinarias y escenarios de emergencia con baterías de litio

Las baterías de ion-litio que alimentan estas maquinarias industriales poseen una **alta densidad de energía** y un diseño complejo orientado a maximizar su rendimiento. Comprender su funcionamiento básico ayuda a anticipar los posibles escenarios de emergencia:

Componentes y operación básica:

Una batería de ion-litio está compuesta por múltiples celdas interconectadas, un electrolito orgánico inflamable y circuitos de control llamados *BMS* (Sistema de Gestión de Batería). El *BMS* monitorea parámetros críticos (voltaje, temperatura, carga) para evitar condiciones peligrosas como sobrecarga o sobredescarga profunda de las celdas. En condiciones normales, este sistema previene daños: por ejemplo, si se intenta cargar por encima del voltaje permitido, el *BMS* lo impide; igualmente, corta la descarga antes de que la batería alcance voltajes demasiado bajos que la podrían inestabilizar. Las maquinarias eléctricas (montacargas, vehículos mineros, camiones, etc.) suelen operar con baterías de decenas a cientos de kilowatt-hora, gestionadas por el *BMS* y convertidores de potencia que suministran corriente a motores eléctricos. Estas baterías de tracción están diseñadas para ciclos de carga/ descarga rápidos y para entregar corrientes muy elevadas, lo cual implica que **ante un cortocircuito o falla interna pueden liberar una enorme cantidad de energía en poco tiempo.**

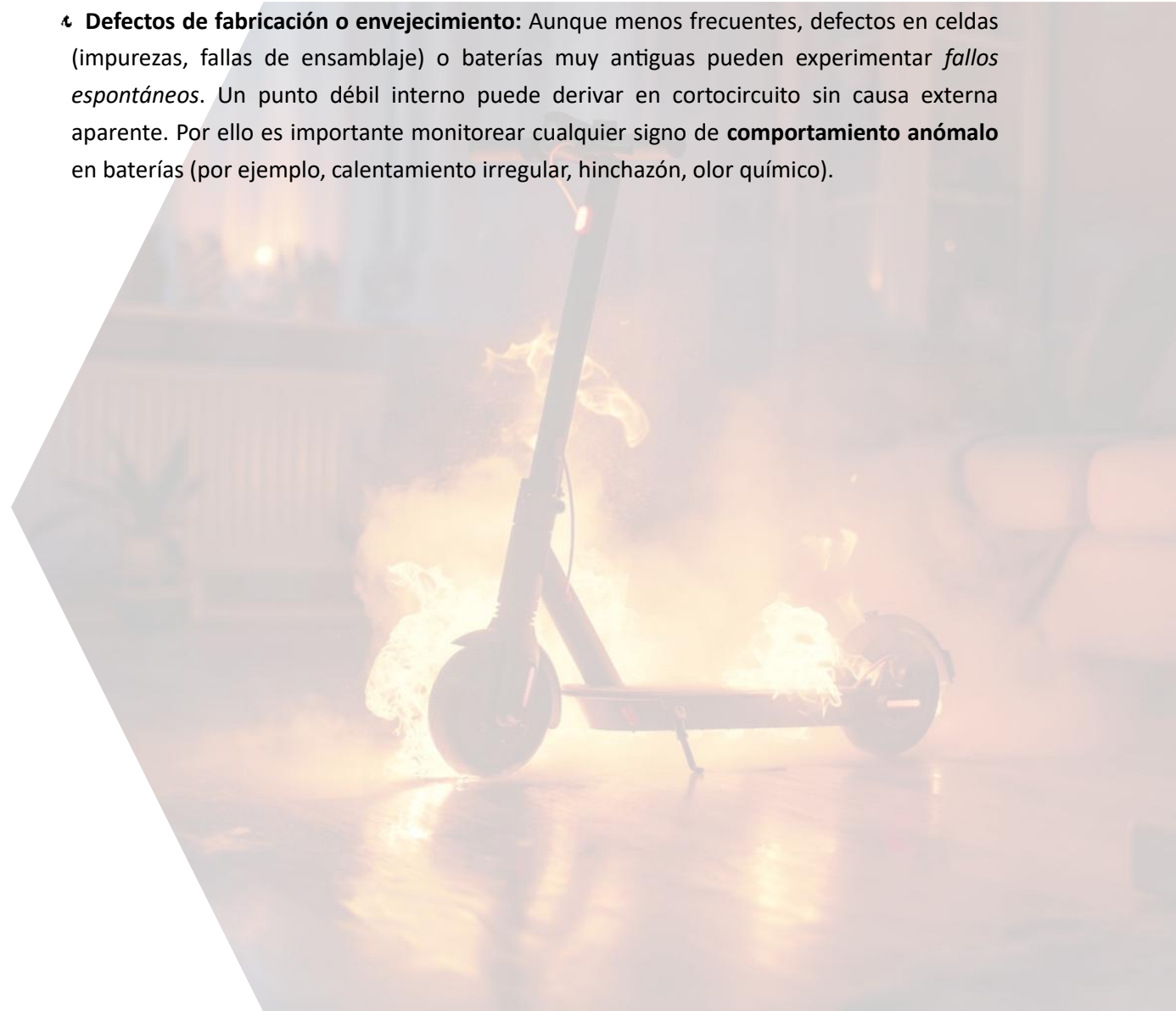
Principales causas de fallo y disparo de emergencias:

A pesar de los controles, una batería de ion-litio puede entrar en una condición catastrófica conocida como *fuga térmica* (thermal runaway) si se ve sometida a daños o abusos. Las causas más comunes incluyen:

- ⚡ **Sobrecarga o sobrevoltaje:** Cargar la batería por encima de su límite puede inducir reacciones descontroladas. En casos extremos, una celda sobrecargada puede calentarse y **encenderse espontáneamente**. Aunque el *BMS* está diseñado para evitarlo, fallos del sistema o cargadores defectuosos podrían provocar este escenario.
- ⚡ **Cortocircuitos internos o externos:** Una **falla de aislamiento, cables pelados o un choque eléctrico** pueden derivar en un cortocircuito de la batería. Esto fue lo que ocurrió en un incidente en Francia, donde una mala maniobra durante la conexión de un montacargas produjo un contacto entre cables pelados y la carcasa metálica, generando un arco eléctrico y llamas en la batería. Los cortocircuitos causan calentamiento explosivo de las celdas, pudiendo lanzar chispas y material incandescente. En el caso citado, el arco produjo una *ráfaga de chispas* visible y dejó la batería en un estado inestable, imposible de desconectar de inmediato hasta que se descargó por completo.



- ⚡ **Daño físico o impacto mecánico:** Un golpe fuerte, perforación o aplastamiento de la batería puede deformar las celdas o romper separadores internos, provocando un cortocircuito interno. Por ejemplo, si un montacargas colisiona contra una estructura o sufre la caída de un objeto pesado sobre la batería, las celdas dañadas podrían entrar en combustión minutos u horas después del impacto. En algunos accidentes, el **BMS también resulta dañado**, de modo que deja de brindar las protecciones usuales.
- ⚡ **Temperaturas extremas:** Las celdas de litio son sensibles al calor. Una exposición prolongada a temperaturas superiores a ~60 °C puede iniciar reacciones térmicas en cadena dentro de la batería. De igual forma, operar o cargar a temperaturas bajo cero puede comprometer la integridad de la batería y generar condiciones inestables. Los fabricantes ofrecen versiones adaptadas (con calefacción) para entornos fríos, pero fuera de especificación la batería podría fallar. En general, **el sobrecalentamiento es uno de los detonantes más peligrosos:** si el calor no se disipa, ciertos componentes internos (electrolito, electrodos) se descomponen liberando más calor, alimentando un ciclo descontrolado.
- ⚡ **Defectos de fabricación o envejecimiento:** Aunque menos frecuentes, defectos en celdas (impurezas, fallas de ensamblaje) o baterías muy antiguas pueden experimentar *fallos espontáneos*. Un punto débil interno puede derivar en cortocircuito sin causa externa aparente. Por ello es importante monitorear cualquier signo de **comportamiento anómalo** en baterías (por ejemplo, calentamiento irregular, hinchazón, olor químico).



Fuga térmica y características del incendio:

La *fuga térmica* es el proceso por el cual una celda en reacción genera suficiente calor para iniciar reacciones en las celdas adyacentes, propagando un incendio en cascada dentro del módulo o batería. Ocurre cuando el calor se acumula más rápido de lo que puede disiparse, llevando a la descomposición violenta del electrolito y otros materiales, que a su vez liberan más energía. Una vez desencadenada, la fuga térmica **puede producir llamas tipo chorro**, expulsión de gases y fragmentos ardientes, e incluso explosiones si la batería está en un recinto confinado y los gases se inflaman al entrar oxígeno. Por ejemplo, en sistemas de baterías estacionarias, se ha visto que, tras un incendio inicial contenido con agentes limpios, al abrir una puerta e ingresar oxígeno puede ocurrir una **deflagración súbita**. Durante la fuga térmica, las baterías emiten **gases inflamables y tóxicos**: el electrolito orgánico vaporiza y descompone en sustancias peligrosas como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), *fluoruro de hidrógeno* (HF) entre otros compuestos. El HF es especialmente preocupante porque es altamente tóxico y corrosivo; puede generarse a partir de sales de litio con flúor presentes en la batería. La presencia de estos gases implica riesgo para la salud de quienes inhalan el humo y riesgo de explosiones secundarias. Si las baterías están agrupadas, el fuego inicial puede *encender celdas cercanas* incluso sin contacto directo, debido al calor radiante –fenómeno de **reacción en cadena** que complica la extinción.



Incendios de baterías versus incendios convencionales:

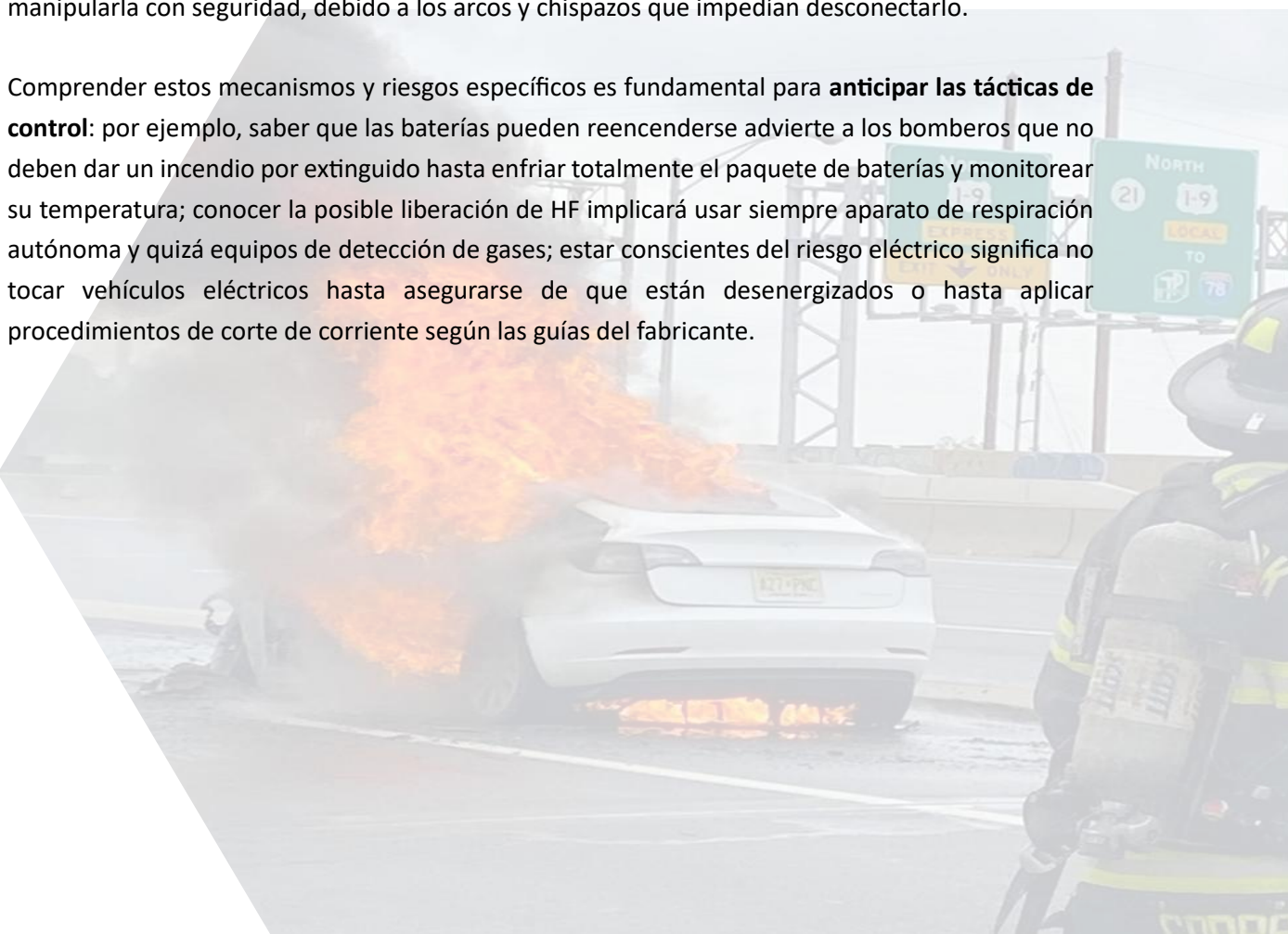
Un incendio originado en baterías de ion-litio **no se comporta como un fuego común**. La energía almacenada alimenta la combustión internamente, por lo que incluso tras apagar las llamas visibles, la batería puede **reencenderse repetidamente** mientras quede energía residual en las celdas dañadas. Este fenómeno de *reignición* se ha documentado en numerosos casos, extendiéndose por horas o días hasta que la batería se enfría completamente o consume todo su contenido energético. Por ejemplo, en pruebas de laboratorio se ha observado que grandes baterías que parecían extinguidas volvieron a arder horas más tarde, liberando más humo corrosivo. Los bomberos enfrentan también el peligro de la **electricidad**: en vehículos o equipos de alta tensión, los componentes energizados pueden causar choques eléctricos si se manipulan incorrectamente. El



NTSB (National Transportation Safety Board) de EE. UU. advierte que los incendios con baterías de alto voltaje presentan riesgo de choque para los primeros o segundos respondedores por la posible exposición a cables o terminales dañados con tensión. Además, la energía “atrapada” o contenida en la batería puede provocar arcos voltaicos y descargas inesperadas (como ocurrió en la mina canadiense, donde la ausencia de protección de sobrecorriente condujo a un potente arco eléctrico). Por tanto, cualquier intervención debe contemplar **procedimientos de seguridad eléctrica**, como desconexión de baterías (si es factible), uso de herramientas aisladas y equipo de protección personal dieléctrico en ciertos casos

Escenarios de emergencia típicos incluyen incendios durante la **carga de baterías** (p. ej. en una estación de carga de una grúa horquilla en una bodega), incendios durante la **operación** (un vehículo ardiendo en medio de la nave industrial, en una galería minera o en carretera), emergencias en **estaciones de carga rápida** o salas de baterías estacionarias y emergencias originadas por siniestros viales. Cada escenario combina algunos de los elementos anteriores: en caso de daño al paquete de baterías puede existir llamas difíciles de extinguir, generación de mucho calor, riesgo de reactivación, emisión de humos tóxicos y potenciales explosiones. Por ejemplo, un incendio en la zona de carga de baterías puede involucrar **arcos eléctricos** y chispas (si el fallo ocurre en el circuito de carga) además del fuego de las celdas; de hecho, en el incidente de Francia 2016 referido, los bomberos tuvieron que **esperar a que la batería se descargara por completo** antes de poder manipularla con seguridad, debido a los arcos y chispazos que impedían desconectarlo.

Comprender estos mecanismos y riesgos específicos es fundamental para **anticipar las tácticas de control**: por ejemplo, saber que las baterías pueden reencenderse advierte a los bomberos que no deben dar un incendio por extinguido hasta enfriar totalmente el paquete de baterías y monitorear su temperatura; conocer la posible liberación de HF implicará usar siempre aparato de respiración autónoma y quizá equipos de detección de gases; estar conscientes del riesgo eléctrico significa no tocar vehículos eléctricos hasta asegurarse de que están desenergizados o hasta aplicar procedimientos de corte de corriente según las guías del fabricante.



Mejores prácticas internacionales de prevención y respuesta

A nivel internacional, diversas organizaciones técnicas, cuerpos de bomberos e industrias han desarrollado **mejores prácticas** para manejar el riesgo de las baterías de ion-litio. Estas prácticas abarcan tanto **medidas preventivas** para reducir la probabilidad de incidentes, como **procedimientos de respuesta** para controlar de forma segura los incendios cuando ocurren. A continuación, se resumen las principales recomendaciones:

Medidas de prevención y mitigación de riesgos (dentro de las industrias):

⚡ **Diseño de instalaciones y zonas de carga:** Las estaciones de carga de baterías deben ubicarse y equiparse con la seguridad en mente. Idealmente, las **áreas de carga en industrias o bodegas** se sitúan en cuartos separados con resistencia al fuego y con buena ventilación. Si no es posible un cuarto independiente, se recomienda limitar la zona de carga a un área delimitada (por ejemplo, máximo 50 m²) alejada de procesos productivos y con sistema de supresión (rociadores) instalado o extintores específicos en el área. Siempre que sea posible, las **estaciones de carga** deberían estar a cielo abierto o cerca de salidas al exterior, de modo que en caso de incidente se pueda evacuar rápidamente el equipo en llamas fuera de la nave. Es fundamental mantener un **perímetro libre** alrededor de los cargadores y baterías en carga: distintos estándares sugieren al menos *2 metros de espacio despejado* sin materiales combustibles alrededor de cada estación de carga. Igualmente, no debe haber materiales combustibles por encima (p. ej. nada de almacenar cajas u otros materiales o elementos encima del cargador, y procurar que no haya cables o bandejas inflamables en el techo directamente sobre el punto de carga). Esta separación reduce la probabilidad de que un fuego de batería se extienda a otros combustibles antes de que pueda ser controlado.

Para el caso de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos IRVE, ya sean públicas o privadas, estas deben contar con un estudio de seguridad y riesgos en caso de incendio y como esta condición interactúa con la estructura que alberga la IRVE (vía pública, estacionamiento en superficie o subterráneo, edificio comercial o habitacional, etc.). De igual manera la NFPA recomienda mantener una distancia de seguridad de 15 metros con otros vehículos o estructuras combustibles para maquinaria o vehículos siniestrados los cuales deberían mantener una vigilancia activa las 48 horas posteriores al evento, lo que debe ser evaluado por las organizaciones e instituciones públicas o privadas que reciben vehículos siniestrados, por ejemplo, concesionarios, empresas de renting vehicular, servicios técnicos, empresas de transporte, equipos de rescate y seguridad de autopistas, comisarías o parking municipal, etc.

⚡ **Ventilación y detección temprana:** La ventilación adecuada de los cuartos o zonas de carga es vital para disipar el calor generado durante la carga y prevenir acumulación de gases combustibles. Debe evitarse que la temperatura ambiental exceda las recomendaciones del fabricante; en climas cálidos, podría requerirse ventilación forzada o refrigeración.



Adicionalmente, equipar estas áreas con **detectores de humo** (preferiblemente detectores precoces por aspiración u otros indicados para tales efectos dado que los incendios de baterías pueden iniciar con emisión de vapores antes de llama abierta) permite una **alarma temprana**. Muchos estándares internacionales ahora sugieren instalar detección automática de incendios en salas de baterías, complementada con sistemas de supresión fijos (rociadores de agua u otros agentes más eficientes) para controlar un fuego incipiente antes de que tome fuerza. Donde sea viable, también es recomendable contar con sensores de **gases inflamables y tóxicos**; por ejemplo, sensores de monóxido de carbono (CO) o de gas *fluorado* podrían detectar acumulación anómala de vapores procedentes de baterías sobrecalentadas, activando alarmas antes de la ignición.

- ⚡ **Procedimientos seguros de carga y manejo:** Seguir rigurosamente las indicaciones del fabricante en cuanto a carga, uso y mantenimiento es la primera línea de prevención. Esto implica usar solo cargadores compatibles y autorizados, evitar sobrecargar o descargar completamente las baterías, respetar los tiempos de enfriamiento si los hubiera, y nunca cargar baterías dañadas. Las operaciones de conexión y desconexión de baterías deben realizarse con el equipo apagado y por personal capacitado para evitar maniobras incorrectas (como conectar polos invertidos, o provocar chispas por no seguir la secuencia apropiada). En algunos entornos, se están adoptando **sistemas de gestión de carga** que monitorizan múltiples baterías en tiempo real para detectar anomalías y cortar la energía si alguna batería muestra parámetros fuera de rango.

- ⚡ **Mantenimiento periódico e inspecciones:** Un programa de **mantenimiento regular** es esencial para detectar a tiempo condiciones de riesgo. Se aconseja **inspeccionar mensualmente** (y hacer mantenimiento profesional al menos anual) tanto las baterías como los cargadores, sus cables y conectores. Las inspecciones deben enfocarse en comprobar que no haya cables pelados, conexiones flojas, corrosión, daños físicos en los módulos de batería ni indicadores de sobrecalentamiento (decoloración, olor a químico). Si se identifica una batería que esté dañada o funcionando mal (por ejemplo, que se recalienta más de lo normal, o que emite ruidos/humos), **debe retirarse inmediatamente de servicio**. La mejor práctica es **trasladar las baterías dañadas a un lugar seguro en el exterior** de la instalación, aislado de materiales combustibles, para su evaluación o cuarentena. Del mismo modo, si un vehículo eléctrico industrial sufre un golpe significativo, se debe desconectar su batería y sacarlo fuera de las naves hasta confirmar que no hay peligro. Estas acciones preventivas evitan que un equipo defectuoso desencadene un incendio dentro de la planta.

- ⚡ **Protección contra daños mecánicos:** Implementar medidas para evitar impactos en las baterías: por ejemplo, usar protectores o defensas en los vehículos eléctricos, delimitar correctamente los pasillos de tránsito de montacargas para minimizar choques, y capacitar a los conductores en maniobras y operación seguras. Algunas empresas instalan sensores de impacto en las grúas horquilla que alertan si ha ocurrido un golpe fuerte, obligando a revisar la batería antes de continuar usándola. En almacenes, es importante **asegurar bien las**



baterías durante su transporte o reemplazo (en caso de baterías extraíbles), usando los equipos de izaje recomendados para no dejarlas caer: una **caída de 1 metro** de una batería puede causar fugas o cortos.

- ⚡ **Capacitación del personal industrial:** Todos los empleados que operan o están en contacto con equipos de baterías de litio deben recibir entrenamiento sobre **prácticas seguras y protocolos o procedimientos de emergencia**. Esto incluye enseñar las precauciones (no fumar ni encender llamas cerca de baterías en carga, qué hacer si se detecta olor o humo, cómo desconectar un cargador de emergencia, etc.), operación o conducción segura, y también simulacros de respuesta inicial (por ejemplo, uso de extintores incipientes, activación de alarmas, procedimientos de evacuación del área). Un personal consciente del riesgo actuará más rápido y apropiadamente ante un incidente incipiente, lo cual puede marcar la diferencia entre un fuego incipiente controlado y un incendio proporciones mayores.
- ⚡ **Segregación y limitación de almacenamiento:** Cuando se almacenan baterías de repuesto u otros dispositivos de litio, es prudente limitar la cantidad en un mismo lugar y separarlos de otros materiales peligrosos. Algunas normativas recomiendan no mezclar distintos tipos de baterías en zonas de acopio y contar con recipientes o contenedores especiales para baterías defectuosas o para reciclaje. De igual forma, no es aconsejable acumular gran número de baterías cargadas juntas sin medios de extinción adecuados. Mantener las baterías en ambientes frescos, secos y ventilados, lejos de fuentes de calor, reduce la probabilidad de degradación acelerada o cortocircuitos.



Mejores prácticas de respuesta a emergencias con baterías de litio:

Extinción y control del incendio:

Ante un fuego en una máquina o batería de litio, la estrategia general es **enfriar agresivamente** la batería para detener la fuga térmica y **controlar la propagación del incendio**. El agua *en grandes cantidades* se reconoce como uno de los métodos más eficaces para enfriar las celdas y absorber el calor, sin embargo, hoy existen agentes extintores especiales como el **ECOFIRE INDUSTRY** o **COLDFIRE** que presentan mejores resultados al ser más eficientes que el agua. Los bomberos suelen utilizar agua –y *mucha*– para extinguir incendios de baterías, incluso en vehículos eléctricos. Sin embargo, se deben anticipar necesidades excepcionales de agua: apagar y enfriar completamente las baterías de alta capacidad puede requerir decenas de miles de litros. Un ejemplo es el incendio de un camión eléctrico Tesla Semi en 2024, que demandó unos **189.000 litros (50.000 galones) de agua** para ser totalmente extinguido. Es crucial aplicar el agua directamente sobre la batería o lo más cerca posible de las celdas implicadas, para absorber el calor interno; esto puede implicar acceder a compartimentos o utilizar lanzas perforantes especializadas (existen sistemas, como el **ColdCut Cobra**, que permiten inyectar agua u otro agente extintor a alta presión a través de la carcasa de la batería). Si el agua se usa desde el inicio, también ayuda a controlar las llamas del electrolito y retrasar la propagación.

Selección de agentes extintores:

Además del agua, existen **agentes específicos** y tácticas complementarias para incendios de baterías:

- 🔧 *Extintores de Polvo Químico Seco (clase ABC):* La NFPA sugiere que los extintores portátiles multiuso (polvo químico ABC) pueden emplearse en fuegos de baterías de ion-litio en fases iniciales. Estos agentes sofocan las llamas superficiales y pueden abatir el fuego momentáneamente, pero **no enfrían** la batería, labor fundamental para lograr controlar el fuego en litio. Se usan principalmente si hay materiales combustibles alrededor en llamas o para controlar el fuego externo mientras llega el equipo especializado.
- 🔧 *Extintores especiales para baterías ion litio:* Muchos expertos recomiendan extintores diseñados específicamente para baterías de ion-litio. Los agentes AVD combinan agua con partículas de vermiculita que forman una capa sobre la batería, sofocando el fuego y proporcionando cierta refrigeración. Los extintores AVD han demostrado eficacia en incendios de celdas de litio y evitan reigniciones mejor que el polvo químico. Su uso está indicado especialmente en fases tempranas o fuegos confinados a pocas celdas. También se están utilizando aditivos encapsuladores en el agua (espumas o líquidos especiales como F-500), con resultados variados. Otra alternativa son agentes extintores de última generación como ECOFIRE cuya formulación orgánica, inocua y 100% biodegradable, logra excelentes resultados como extintor y agente ignífugo al evitar el traspaso de calor entre combustibles siendo dieléctrico hasta 25.000 volt.



- ✦ **Sistemas fijos de gases inertes:** En instalaciones fijas (cuartos de baterías estacionarias), a veces se emplean sistemas de extinción con gases como CO₂ o agentes limpios inertes FM-200, NOVEC 1230, ECARO 25 u otros. Estos pueden **suprimir temporalmente** las llamas al desplazar el oxígeno, pero no enfrían la batería ni detienen la fuga térmica. Un caso real demostró sus limitaciones: en 2019, un sistema fijo apagó inicialmente un incendio en un contenedor de baterías de litio (ESS) en Arizona, pero cuando los bomberos abrieron la puerta, la reintroducción de oxígeno causó una explosión (deflagración) que lesionó a varios bomberos. La lección aprendida es que, si se usan sistemas inertes, **no se debe ventilar el recinto sin prever** que las baterías pueden estar al rojo vivo y listas para inflamar gases acumulados. Se recomienda entonces combinar estos sistemas con enfriamiento (por ejemplo, rociadores de agua que actúen después del CO₂) o al menos extremar precauciones al reabrir el recinto incendiado.

ADVERTENCIA. No usar extintores de clase D (metales):

Un punto crítico es **no confundir** estos fuegos con incendios de metal combustible. Aunque el litio es un metal, en las baterías ion-litio el contenido de litio metálico es mínimo o inexistente (está en forma iónica). Por ello, los extintores clase D para metales combustibles (povos para magnesio, sodio, etc.) **no son efectivos** contra baterías de ion-litio. De hecho, la NFPA desaconseja su uso pues podrían ser hasta peligrosos al no controlar adecuadamente este tipo de fuego.



Técnicas de manejo durante la emergencia:

Los bomberos deben abordar un incendio de batería con estrategias diferenciadas:

- ✦ **Aislar y contener:** Si es posible, se intenta **separar el equipo en llamas** de otros bienes. En una bodega o industria, esto puede implicar mover con maquinaria otra mercancía cercana o incluso, con gran precaución, remolcar el vehículo incendiado al exterior (solo si es seguro y no hay riesgo de electrocución o propagación en tránsito). Siempre debe primar la seguridad del personal; si la batería entra en fase de fuga térmica, muchas guías de respuesta aconsejan dejarla consumir en un entorno controlado antes que exponer personas a un rescate del equipo.
- ✦ **Enfriamiento prolongado:** Aun cuando las llamas visibles se extingan, se debe **continuar enfriando** la batería con agua durante un buen tiempo. Las celdas internas pueden seguir en estado de descomposición térmica. Un método utilizado en algunos cuerpos de bomberos para vehículos eléctricos es sumergir la batería (o incluso todo el vehículo) en un contenedor con agua, cuando ello es factible, para garantizar su enfriamiento total. Si no, se mantiene un



chorro o rociado sostenido sobre el paquete de baterías por **varios minutos (o incluso horas)** hasta que las temperaturas medidas sean seguras.

- ⚡ **Monitoreo térmico y de gases:** Durante y después de la extinción, es crucial monitorizar el área. Las **cámaras termográficas** permiten identificar puntos calientes en la batería que puedan indicar reacciones internas persistentes. Cualquier punto que siga elevando su temperatura merece seguir siendo enfriado. Asimismo, debido a los gases tóxicos, se debe ventilar bien el lugar y usar detectores multigás para verificar que los niveles de monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno o fluoruro de hidrógeno no representen peligro antes de dar por finalizada la emergencia. En incidentes recientes, los equipos hazmat midieron la calidad del aire y no retiraron los SCBA hasta confirmar la ausencia de gases peligrosos tras extinguir el fuego.

- ⚡ **Evitar la reactivación (reignición):** Como se mencionó, la reignición es un riesgo latente. Por ello, después de controlado el incendio, **no se debe bajar la guardia**. Se recomienda que los bomberos permanezcan en el sitio por un tiempo prolongado en labores de vigilancia (*fire watch*), o que la empresa asuma monitoreo continuo de la batería afectada durante al menos 24 horas. Si el dispositivo incendiado puede retirarse a un lugar aislado (por ejemplo, sacarlo al exterior y dejarlo en un contenedor metálico alejado de edificios), es preferible, de modo que si se reenciende no cause más daños. Algunos protocolos incluyen volver a mojar la batería cada cierto tiempo preventivamente. Un informe del NTSB destaca que la energía remanente en las celdas dañadas puede causar **reincendios incluso horas después de extinguido el fuego**, mientras haya “energía varada” en la batería. Por tanto, la escena no se considera totalmente segura hasta haber eliminado o estabilizado esa energía (por ejemplo, inundando la batería de agua, o consumiendo la carga restante de forma controlada).

- ⚡ **Protección personal y de equipos de respuesta:** Los intervinientes deben usar siempre **equipo de protección personal completo**, incluido equipo de respiración autónoma (ERA/SCBA), debido a los humos altamente tóxicos que desprenden estas baterías. También se recomienda protección ocular y de la piel frente a posibles salpicaduras de electrolito (que puede contener sustancias corrosivas). Tras la intervención, se debe descontaminar la indumentaria y equipos expuestos, ya que compuestos como el fluoruro de hidrógeno pueden quedar depositados. Asimismo, los vehículos de bomberos y materiales utilizados (mangueras, herramientas) deben enjuagarse para prevenir corrosión por estos subproductos químicos.

- ⚡ **Coordinación especial en emergencias mayores:** Si el incidente aumenta (por ejemplo, incendio de una bodega o estructura industrial completa originado en baterías, o fuego en un laboratorio/industria con gran cantidad de celdas), la respuesta debe incorporar equipos especializados en materiales peligrosos (*HazMat*) y posiblemente evacuaciones preventivas. Las autoridades pueden establecer **perímetros de seguridad** más amplios de lo habitual debido a la toxicidad del humo. Por ejemplo, en el incendio de 900 toneladas de baterías en una planta de reciclaje en Francia (2023), se necesitó más de 70 bomberos y la coordinación



con autoridades locales para evacuar a poblaciones cercanas debido a la magnitud del incendio y el humo generado. Esto subraya la importancia de tener planes de emergencia integrales que contemplen no solo la extinción, sino también la protección de la comunidad y el medio ambiente circundante.

En resumen, las mejores prácticas internacionales enfatizan una combinación de **prevención proactiva** (diseño seguro de instalaciones, mantenimiento riguroso, inspecciones periódicas y capacitación) y **respuesta técnica especializada** (abundante enfriamiento con agua, uso de agentes extintores especiales más adecuados, procedimientos para evitar reignición, protección del personal de emergencia y monitoreo post-incendio). También destacan que la situación evoluciona: nuevas tecnologías de extinción se están probando (sistemas de inmersión, herramientas perforadoras, aditivos encapsulantes) y deben ser observadas por los cuerpos de bomberos para actualizar sus tácticas en la medida que evoluciona el riesgo.



Normativas y políticas públicas relevantes

Dada la creciente preocupación por los incendios relacionados con baterías de ion-litio, los entes reguladores y organizaciones profesionales en varios países están desarrollando **normativas y políticas** para mejorar la seguridad, tanto en el contexto industrial como en la respuesta de emergencias. A continuación, se mencionan las principales:

Normativas internacionales (NFPA, IEC, UL):

En Estados Unidos, la *National Fire Protection Association (NFPA)* ha emitido estándares específicos para instalaciones con baterías.

La **NFPA 855 (2020)**, por ejemplo, es la *Norma para la Instalación de Sistemas de Almacenamiento de Energía Estacionarios*, que establece requisitos de seguridad contra incendios para baterías fijas de gran tamaño (ubicación, ventilación, supresión, separación, sistemas de gestión, planes de emergencia, etc.). Muchas de sus disposiciones aplican a baterías de ion-litio en instalaciones comerciales e industriales, y sirve de guía incluso para zonas de carga de equipos móviles (limitando cantidades, exigiendo detección de incendios y control ambiental). La NFPA también está desarrollando una norma más amplia, **NFPA 800: Código de seguridad de las baterías**, concebida para cubrir *todo el ciclo de vida* de las baterías y llenar vacíos entre códigos existentes. Este nuevo código (aún en desarrollo en 2024) unificaría criterios desde la fabricación, almacenamiento, transporte, uso, hasta reciclaje de baterías, proporcionando requisitos mínimos uniformes para proteger vidas y propiedades de los peligros de incendios y explosiones de baterías.

Adicionalmente, otros estándares NFPA y del *National Electrical Code (NEC)* regulan aspectos puntuales: por ejemplo, el **NEC (NFPA 70)** contiene requisitos para sistemas de carga de vehículos eléctricos y baterías estacionarias, incluyendo consideraciones de protección de sobrecorriente, desconexiones de emergencia y ventilación de áreas de baterías de plomo-ácido (para hidrógeno) que están siendo extendidas a tecnologías de litio. Asimismo, entidades como UL (Underwriters Laboratories) han publicado normas de prueba y certificación para baterías: **UL 2580** (baterías para vehículos eléctricos), **UL 1973** (baterías estacionarias de uso industrial), **UL 9540** (sistemas de almacenamiento de energía, junto con NFPA 855), entre otras. Estas normas técnicas no son leyes por sí mismas, pero son frecuentemente adoptadas por las regulaciones locales o exigidas por aseguradoras, garantizando que las baterías y equipos comercializados tengan **mecanismos de seguridad integrados** (válvulas de alivio, sistemas BMS robustos, compartimentos resistentes al fuego, etc.).

Estándares IEC y esfuerzos en la Unión Europea:

A nivel internacional, la *Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)* ha desarrollado normas específicas para la seguridad de baterías industriales. Por ejemplo, la **IEC 62619** establece requisitos y ensayos de seguridad para la operación segura de celdas y baterías de litio secundarias en aplicaciones industriales. Esta norma (adoptada en Europa como UNE-EN IEC 62619) cubre pruebas de abuso (cortocircuito, impacto, sobrecarga) que los fabricantes deben cumplir, elevando la seguridad intrínseca de las baterías industriales. Europa, por su parte, recientemente promulgó el



Reglamento de Baterías de la UE (2023) que reemplaza a la antigua directiva, enfocándose en todo el ciclo de vida: si bien su énfasis principal es ambiental (reciclaje, contenido reutilizable, segunda vida), también incluye disposiciones de seguridad en fabricación y transporte. Algunos países europeos han emitido lineamientos para almacenamiento seguro de baterías de litio en depósitos y para estaciones de carga de vehículos en edificios, integrándolos a sus códigos de incendio. Por ejemplo, en Alemania se está reforzando la normativa de protección contra incendios en almacenes que guardan grandes cantidades de baterías, requiriendo sistemas automáticos de extinción y planes de respuesta específicos. Francia, a través de su normativa de instalaciones clasificadas, evalúa el riesgo de las baterías en entornos industriales e impone medidas de seguridad según la cantidad de energía almacenada (los accidentes, como el citado incendio de 900 toneladas de baterías en 2023, han impulsado revisiones normativas en ese país).

Lineamientos de OSHA y organismos laborales:

En Estados Unidos, la **OSHA** (Occupational Safety and Health Administration) ha reconocido los riesgos asociados a las baterías de litio en entornos de trabajo. Aunque no existe aún un estándar OSHA específico solo para baterías de ion-litio, se aplican normas generales de seguridad eléctrica, manejo de materiales peligrosos y planes de emergencia. OSHA publicó una *guía de seguridad* sobre baterías de litio que enfatiza la importancia de incluir los incidentes con baterías en los **Planes de Acción de Emergencia** de los centros de trabajo. Es decir, toda empresa que use baterías de litio debe tener procedimientos escritos y entrenados para responder a incendios o explosiones de baterías, alineados con las recomendaciones del fabricante y guías de NFPA. OSHA también requiere que los trabajadores estén informados de los peligros físicos y de salud de estas baterías y reciban formación adecuada. Por ejemplo, la normativa OSHA 29 CFR 1910.178, que regula los montacargas industriales, obliga a medidas de seguridad en áreas de carga de baterías (como disponibilidad de duchas de emergencia y lavado de ojos si hay riesgo de contacto con electrolito, ventilación para evitar acumulación de hidrógeno en baterías tradicionales, etc.), muchas de las cuales son igualmente buenas prácticas para baterías de litio. En general, las agencias de seguridad laboral están reforzando que las empresas evalúen el **riesgo de incendios de baterías** como parte de sus análisis de riesgos de procesos y programas de gestión de seguridad.



Políticas públicas y coordinación con bomberos:

Algunas ciudades y gobiernos locales han adoptado políticas ante el aumento de incendios por baterías. Un ejemplo es la ciudad de Nueva York, que tras experimentar más de 200 incendios en 2023 ligados a baterías de litio (principalmente de micromovilidad), promulgó regulaciones para asegurar que solo se usen dispositivos y cargadores certificados y ha impulsado campañas educativas. Si bien este caso se centra en baterías pequeñas de consumo, refleja una tendencia: **mayor escrutinio regulatorio** sobre cualquier entorno donde se utilicen baterías de ion-litio en cantidad. En el ámbito industrial, autoridades de distintos países están elaborando guías específicas. Por ejemplo, servicios de bomberos y asociaciones industriales en España y Latinoamérica han emitido documentos técnicos sobre riesgos de baterías en almacenes y cómo prevenirlos. En Chile, país minero con creciente interés en electromovilidad industrial, empresas mineras en conjunto con bomberos han realizado alianzas para capacitación e incluso para equipar a los bomberos con herramientas especializadas (un caso notable es la adquisición del primer carro bomba eléctrico en Santiago con apoyo de la industria del litio, mostrando el compromiso de adaptación tecnológica).



A nivel internacional, la **CTIF** (Asociación Internacional de Servicios de Incendios y Rescate) está sirviendo como plataforma para el intercambio de información sobre fuegos de baterías. Publica reportes mensuales de incidentes con baterías y vehículos eléctricos en todo el mundo, y promueve la creación de protocolos unificados. Asimismo, foros técnicos como NFPA en EE. UU., IFV en Países Bajos, etc., han desarrollado **manuales para bomberos** sobre cómo lidiar con baterías de vehículos eléctricos y de almacenamiento. Muchos de esos principios aplican igualmente a equipos industriales de litio.

En nuestro país, la normativa se centra en cuanto a la seguridad y homologación que deben cumplir los vehículos eléctricos y esta se encuentra radicada en el **Centro de Control y Certificación Vehicular 3CV**, en el **decreto 145 del Ministerio de transportes y telecomunicaciones MTT**, que establece requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para vehículos eléctricos e híbridos y por otro lado la regulación establecida para las instalaciones eléctricas de la infraestructura de recarga para vehículos eléctricos IRVE la cual recae en el **RIC 15 de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles SEC**. Si bien es cierto existe normativa regulatoria, la misma es insuficiente en materias de seguridad y tiene una brecha en acceso a la información de seguridad que la hace poco operativa en la práctica.



No obstante, la regulación nacional procede para los casos mencionados en el párrafo anterior, existen mejoras sustanciales que se deben realizar para aumentar las condiciones de seguridad del personal de primera respuesta a emergencias (bomberos, brigadas industriales o personal de autopistas) y segundos intervinientes (personal de seguridad municipal, servicio técnico, personal de seguridad vial autopistas, servicios de grúas, etc.) como por ejemplo implementar la norma ISO 17840 / 1-2-3 para regular la ficha de seguridad u hoja de rescate que debe incorporar los vehículos eléctricos, e incluir a los vehículos pesados de transporte de carga y de pasajeros y maquinaria eléctrica. Esto aportaría la información necesaria para manejar las energías y el riesgo que conllevan en la escena de un siniestro vial o incidente con o sin presencia de fuego en un ambiente industrial o la vía pública.



En conclusión, las normativas aún se están poniendo al día con la rápida proliferación de la tecnología de ion-litio. No obstante, ya existen estándares clave (NFPA 855, IEC 62619, UL 9540, ISO 17840, reglamentos y/o protocolos locales) que proporcionan un marco de seguridad.

Es esencial que los cuerpos de bomberos y en general primeros respondedores de emergencias públicas o privada (personal de seguridad municipal, brigadas industriales, personal de autopistas, por ejemplo) se mantengan informados sobre los riesgos y también de estos desarrollos normativos. Igualmente, conocer la regulación aplicable ayuda a los bomberos y a todo el personal de seguridad y emergencias municipal a **exigir su cumplimiento** durante inspecciones de prevención en industrias, por ejemplo, verificando si una bodega o instalación cumple con mantener 2 m libres en su zona de carga de baterías, si una industria tiene un plan de respuesta específico para sus vehículos eléctricos, o si un estacionamiento cuenta con un adecuado plan de emergencias en caso de un incidente con vehículos o maquinaria eléctrica, etc.



Casos e incidentes recientes en entornos industriales

Varios incidentes alrededor del mundo ilustran los peligros reales de las baterías de ion-litio en contextos industriales y la importancia de la preparación. A continuación, se describen algunos casos relevantes de los últimos años, junto con sus lecciones aprendidas:

- ❖ **Explosión en sistema de baterías estacionarias – Arizona, 2019:** En Surprise, Arizona, ocurrió un incendio dentro de un contenedor de baterías de ion-litio que formaba parte de un sistema industrial de almacenamiento de energía (ESS) para la red eléctrica. Un equipo hazmat de bomberos respondió, encontrando que las baterías alcanzaron temperaturas de fuga térmica y el sistema fijo de supresión con gas inerte se había activado. Al abrir la puerta del contenedor, la introducción repentina de oxígeno provocó una **explosión (deflagración)** de los gases acumulados, que dejó a cuatro bomberos gravemente heridos. Este incidente puso de manifiesto el riesgo de **explosiones diferidas** en recintos cerrados con baterías y llevó a cambios en los protocolos: ahora se enfatiza ventilar de forma remota antes de ingresar y usar cámaras térmicas para evaluar el estado interno. También impulsó mejoras en el diseño de contenedores de baterías (por ejemplo, ventilaciones de alivio de presión y mejores sistemas de monitoreo de gases).
- ❖ **Incendio en vehículo eléctrico subterráneo – Mina de níquel en Canadá, 2020:** En la mina Craig de Glencore (Sudbury, Canadá), un camión utilitario eléctrico equipado con baterías de litio sufrió un incendio intenso a 1.200 metros de profundidad. El fuego se inició por un **arco eléctrico masivo** durante trabajos de mantenimiento: una serie de errores (daño previo en un inversor y reemplazo indebido de fusibles por puentes) dejó al vehículo sin protección de sobrecorriente, causando una sobretensión que generó calor y llamas que **encendieron el paquete de baterías**. Dos técnicos quedaron atrapados tras el vehículo sin salida mientras se quemaba; lograron sobrevivir conectando sus mascarillas a una línea de aire comprimido de la mina, hasta ser rescatados por el equipo de *mine rescue*. No hubo heridos, pero la empresa analizó el incidente con la misma seriedad que un accidente fatal. Se aprendió la importancia de **mantener los sistemas de seguridad** de las baterías: nunca anular fusibles sin claras identificaciones, y solo personal autorizado debe manipular componentes eléctricos críticos. Tras el incidente, se implementaron procedimientos más estrictos en la mina para revisión de cualquier BEV tras eventos de sobrecorriente, y se compartieron las lecciones con la industria minera global para prevenir incidentes similares.
- ❖ **Incendio y fuga química en montacargas eléctrico – Francia, 2016:** En un almacén mayorista en Rochefort-sur-Nenon, hacia el final de la jornada (18:00), se produjo un **inicio de incendio** en la batería de una grúa horquilla eléctrica durante su recarga. La causa fue atribuida a una *maniobra incorrecta* en la conexión, que provocó un contacto entre cables pelados y la estructura metálica del vehículo, generando chispas y un arco eléctrico. El fuego inicial fue pequeño y el personal de la nave pudo contenerlo rápidamente con un extintor de CO₂. Sin embargo, la batería quedó en un estado inestable, emitiendo arcos y no se podía desconectar sin riesgo. Los bomberos acudieron y, siguiendo protocolo, **esperaron a que la**



batería se descargara completamente (lo cual tomó cerca de una hora) antes de retirarla al exterior. La investigación reveló varias **deficiencias**: cables demasiado largos y atados de manera incorrecta que propiciaron el cortocircuito, falta de un sistema para drenar la batería de emergencia, y que en la sala de carga no había extintores adecuados para fuegos eléctricos. Como medidas, se rediseñó la instalación de carga (colocando guías para cables, extintores apropiados y un checklist de supervisión). Este caso demuestra cómo incluso un pequeño conato en un montacargas podría haber escalado sin la intervención rápida, y subraya la necesidad de **equipos adecuados** en áreas de carga (extintores específicos para los nuevos riesgos) y personal entrenado.

⚡ **Incendio en planta de fabricación de baterías – Corea del Sur, 2020:** (Caso ilustrativo internacional) En 2020, una fábrica de baterías de iones de litio en Corea del Sur sufrió un incendio de grandes proporciones que puso en jaque a los bomberos. Las baterías almacenadas y en proceso generaron un fuego difícil de controlar; según informes de NFPA, tanto baterías de metal-litio como de ion-litio presentan desafíos únicos para la seguridad contra incendios. Se observó propagación rápida y emisión de gases tóxicos que requirió la evacuación de la zona. Este incidente impulsó en Corea del Sur revisiones normativas y mayores medidas de seguridad industrial, sirviendo de recordatorio de que las instalaciones de fabricación o reciclaje de baterías en sí mismas son entornos de alto riesgo.

⚡ **Fuego en camión eléctrico de transporte – California, 2024:** En agosto de 2024, un camión tractocamión **Tesla Semi** (vehículo de carga pesada totalmente eléctrico) se incendió espontáneamente en una autopista interestatal (I-80) en California. Si bien este evento ocurrió en ruta y no en una planta industrial, es relevante por tratarse de un vehículo de tipo *logístico* equipado con baterías masivas operando en entorno real. El incendio del Tesla Semi requirió un enorme esfuerzo de extinción: **50.000 galones de agua** aplicados durante horas para controlar el fuego y enfriar la batería. Fue necesario cerrar la autopista y coordinar múltiples unidades de bomberos. Este caso refleja los retos que enfrentarán los bomberos en el transporte de carga electrificado (camiones, buses industriales, etc.), sectores que comparten tecnología con la maquinaria industrial. Tras el incidente, el NTSB destacó la importancia de *monitoreo térmico exhaustivo* (se usaron drones con cámara térmica para vigilar la temperatura del camión) y de tener fuentes de agua abundantes en las cercanías de corredores viales. Para los bomberos u equipos de respuesta a emergencias de autopistas, incidentes como este anticipan la necesidad de preparar planes de respuesta específicos para **vehículos eléctricos de gran tamaño**, semejantes a los que visitan a diario centros logísticos o industriales.

⚡ **Incendio en planta de reciclaje de baterías – Francia, 2023:** En enero de 2023, un incendio arrasó con un almacén que contenía alrededor de **900 toneladas de baterías de litio** cerca de Toulouse, Francia. Este fue uno de los mayores incendios de baterías registrados. Al menos 70 bomberos trabajaron por días para controlar el siniestro, enfrentando explosiones esporádicas de celdas, ríos de electrolito en combustión y una densa nube tóxica que motivó



alertas ambientales. El incidente evidenció la necesidad de protocolos especializados para instalaciones de reciclaje, donde grandes volúmenes de baterías agotadas (a menudo dañadas) se acumulan. Las autoridades francesas iniciaron investigaciones y probablemente endurecerán las condiciones de almacenamiento para este tipo de instalaciones, mientras que los bomberos locales adquirieron experiencia valiosa en manejo de incendios de gran escala con baterías. La lección principal fue que es *imprescindible* contar con **sistemas automáticos de detección y supresión temprana** en lugares con tal carga de fuego, y que los planes de emergencia deben contemplar escenarios de largas duraciones y amplia dispersión de contaminantes.

Estos casos resaltan que **ningún entorno está exento**: desde la bodega o industria que carga una grúa horquilla eléctrica, pasando por la mina remota, hasta la carretera por donde circula un camión eléctrico, la fábrica que produce baterías o el estacionamiento. En todos ellos, disponer de **información actualizada** sobre la tecnología involucrada (química de la batería, capacidad, sistemas de seguridad incorporados) y lecciones de incidentes previos puede marcar la diferencia en la efectividad de la respuesta de bomberos o quien corresponda. Cada incidente investigado proporciona datos valiosos: por ejemplo, el conocimiento de que ciertos vehículos pueden liberar cientos de kWh en forma de calor, o que la apertura prematura de un contenedor sellado puede ser catastrófica, o que componentes mal mantenidos anulan las protecciones. Los bomberos deben **estudiar estos casos** y usarlos para entrenar a sus miembros, actualizar protocolos y abogar por mejoras en las prácticas industriales locales.



Recomendaciones para brigadas de emergencia y bomberos

Dada la experiencia acumulada y las mejores prácticas descritas, a continuación, se ofrecen **recomendaciones específicas** para que los cuerpos de bomberos y también para brigadas industriales o de rescate y seguridad vial se preparen y actúen de manera segura ante emergencias que involucren maquinaria o vehículos eléctricos con baterías de ion-litio en entornos industriales o en la vía pública:

- ✦ **Capacitación especializada del personal:** Incorporar en los programas de formación continua módulos específicos sobre baterías de ion-litio y vehículos eléctricos. Los bomberos y brigadas de emergencias deben comprender los riesgos particulares (fuga térmica, reignición, choque eléctrico, gases tóxicos) y las tácticas de combate más efectivas. Idealmente, realizar entrenamientos prácticos, simulacros o uso de simuladores si están disponibles. Muchos fabricantes de vehículos eléctricos y organizaciones como NFPA ofrecen **guías de respuesta de emergencia**; es recomendable estudiarlas y adaptar sus recomendaciones a los protocolos y condiciones locales de operación. Hay que asegurar que *todo el personal operativo* esté familiarizado con el manejo de agentes extintores específicos (p.ej. AVD, ECOFIRE, COLDFIRE u otro) y con el uso intensivo de agua para estos casos. La **formación HazMat** también debe reforzarse, dado que un incendio de baterías involucra manejo de materiales peligrosos (humos corrosivos, derrames de electrolito), transformándose en una emergencia electroquímica. En resumen, ningún bombero, rescatista o brigadista debería enfrentar su primer incendio de batería **el día del incidente real** sin antes haber recibido teoría y preferiblemente práctica al respecto.
- ✦ **Actualización de protocolos y preplanificación:** Revisar las POE (Procedimientos Operativos Estándar) e **incluir protocolos específicos** para incidentes con baterías de litio. Esto abarca desde criterios de despacho para el caso de bomberos (por ejemplo, escalar a HazMat si se reporta “fuego en batería” en cierta industria), hasta tácticas en el lugar (uso de grandes caudales de agua, necesidad de asegurar fuente de abastecimiento continua, zonas de exclusión por toxicidad, Agentes extintores que posea la industria, etc.). Establecer guías para *aislar eléctricamente* vehículos o equipos eléctricos: disponer de información sobre cómo desconectar o desenergizar de emergencia distintas máquinas (p.ej. conocer la ubicación de interruptores de corte de alto voltaje, o si procede dejar que la batería se agote por sí sola como en el caso francés). Esto requiere conocer e interpretar las hojas de seguridad o fichas de rescate. Incluir consideraciones de **reignición**: por protocolo, después de extinguir un incendio de batería, mantener vigilancia por horas y/o entregar la escena al propietario con instrucciones claras de monitoreo. Asimismo, planificar la logística de agua: identificar hidrantes cercanos a industrias críticas, tener listo acceso a camiones cisterna u otras fuentes en caso de necesitar decenas de miles de litro. Es útil también contar en protocolos con *fichas de datos* o checklist específicos para baterías, indicando por ejemplo qué tipo de extintor usar, qué EPP extra considerar (trajes de aproximación aluminizados si hay riesgo de explosión, etc.), cómo proceder con los residuos post-incendio, etc.



- ⚡ **Equipamiento adecuado y herramientas tecnológicas:** Evaluar el inventario de equipos de respuesta a emergencias tanto para siniestros viales como para incendios y adquirir aquellos necesarios para enfrentar fuegos u otros siniestros en vehículos o maquinarias con uso de baterías.
- ⚡ **Medios de extinción:** Asegurar disponibilidad de extintores portátiles de clase ABC en los carros, ya que son más eficaces que la clase D en este contexto. Si es factible, dotarse de **extintores o kits especializados para baterías de ion-litio** (por ejemplo, extintores AVD, ECOFIRE, mantas ignífugas especiales para vehículos eléctricos, lanzas perforadoras de baterías).
- ⚡ **Protección personal y detección:** Proveer a los bomberos de **equipo de respiración autónoma** en buen estado y requerir su uso obligatorio en cualquier incendio de posible batería (incluso si parece pequeño, por los gases invisibles que pueden emanar). Disponer de detectores de gases portátiles (que midan CO, H₂S, HCN, HF si es posible) para monitoreo ambiental tras la extinción. Equipar cámaras térmicas en las unidades para identificar puntos calientes tanto en evaluaciones iniciales como durante la fase de confinamiento y control del fuego.
- ⚡ **Herramientas de seguridad eléctrica:** Incluir en los equipos material dieléctrico como gancho para desconexión, pinzas aisladas, tapetes o mantas aislantes, para manipular con relativa seguridad cables o componentes eléctricos si es imprescindible. Igualmente, contar con **señalización** de “riesgo eléctrico / alta tensión” para mantener al personal no protegido alejado del equipo siniestrado hasta declararlo seguro.
- ⚡ **Unidades o contenedores de inmersión:** Algunos departamentos de emergencias están invirtiendo en contenedores móviles (piletas, bañeras metálicas) donde sumergir vehículos o baterías incendiadas. Si en la jurisdicción hay muchas flotas de vehículos eléctricos, podría valorarse contar con uno de estos dispositivos para sofocar incendios persistentes mediante inmersión completa (lo que también minimiza emisiones de humo).
- ⚡ **Inteligencia previa y coordinación con industrias:** Es altamente recomendable que los bomberos establezcan **contacto proactivo** con las empresas de su jurisdicción que utilizan maquinaria eléctrica de litio. Esto puede hacerse a través de visitas de inspección, programas de preplanificación o comités locales de seguridad industrial. Algunas acciones concretas:
 - ⚡ **Mapeo de riesgos:** Crear y mantener un registro de qué instalaciones poseen montacargas o grúas horquilla de litio u otros equipos relevantes, cuántos y de qué capacidad, y dónde se ubican sus zonas de carga y almacenamiento de baterías. Esta información se puede integrar en los planes de respuesta y en los sistemas de despacho (por ejemplo, que al recibir una alarma de incendio en “Bodega X” aparezca una nota: “presencia de 5 montacargas Li-ion, sala de carga al fondo sector norte”).



- 🔧 **señalización y acceso:** Trabajar con las empresas para que **señalicen claramente** las áreas de carga de baterías y los lugares donde haya grandes acumulaciones de baterías. Esto no solo ayuda a personal interno, sino que facilita a los bomberos reconocer el riesgo al llegar (p. ej. un símbolo en la puerta de una sala de baterías). Asimismo, coordinar para que las industrias faciliten información técnica de las baterías a los bomberos: fichas de datos de seguridad, manuales de emergencia de los fabricantes de equipos, etc., idealmente disponibles **in situ** y en formato accesible.
- 🔧 **Ejercicios conjuntos:** Realizar simulacros de incidente con baterías en conjunto con las brigadas internas de las empresas. Esto mejora la coordinación y permite ajustar tiempos de respuesta. Las empresas pueden aportar su conocimiento del equipo y los bomberos su experiencia táctica, logrando procedimientos integrados. Por ejemplo, un simulacro de incendio de una grúa horquilla podría revelar puntos de mejora en la comunicación (que la brigada interna informe rápidamente al departamento de bomberos si hay baterías involucradas) o en la logística (asegurar que el hidrante interno funciona y tiene suficiente caudal).
- 🔧 **Canales de comunicación y asesoría:** Establecer rutas directas de comunicación para emergencias: que las empresas sepan a quién llamar en Bomberos ante cualquier *incidente menor* con baterías (muchas veces prefieren no molestar, pero es preferible una evaluación temprana). De igual modo, los bomberos pueden ofrecer **asesoría preventiva**: por ejemplo, recomendando a una empresa mejorar la ventilación de su sala de baterías o recordando la necesidad de extintores específicos en vez de agua, etc., durante las inspecciones de seguridad.

Gestión post-incidente y aprendizaje:

Tras cualquier incidente local con baterías de ion-litio (por pequeño que sea), es útil realizar una revisión interna y con la empresa implicada para **extraer lecciones**. Esto alimenta la base de conocimiento y ayuda a pulir los planes. Del mismo modo, mantenerse al día con la información de incidentes globales: seguir publicaciones de organismos como NFPA, CTIF, o informes de otras ciudades que detallen cómo enfrentaron ciertos incendios. La información debe retroalimentar tanto la **doctrina táctica** (¿funcionó tal agente? ¿cuánto tiempo monitorearon? ¿qué riesgos no anticiparon?) como la **incidencia en políticas** (por ejemplo, si en otra ciudad un tipo de batería causó problemas, alertar a las industrias locales que usen baterías similares sobre esa experiencia).

Enfoque en la seguridad de los bomberos:

Asegurarse de que en todos los procedimientos la seguridad del personal bombero sea prioritaria. Esto implica *no subestimar* un fuego de batería: incluso un pequeño dispositivo puede liberar sustancias nocivas; siempre utilizar ERA, siempre asumir que puede haber riesgo eléctrico hasta comprobar lo contrario, y vigilar la fatiga del personal (ya que estos incendios pueden requerir horas de trabajo continuo). Implementar rotaciones y rehabilitación en escenas prolongadas, y después del servicio, hacer controles médicos si alguien estuvo expuesto a humos de litio sin protección adecuada. La cultura de seguridad debe reforzarse con estas nuevas amenazas emergentes.

En definitiva, los cuerpos de bomberos deben **evolucionar a la par** de la tecnología en las industrias. Así como en el pasado se adaptaron a nuevos riesgos (por ejemplo, la llegada de materiales peligrosos químicos, o de estructuras de construcción liviana), hoy la irrupción de las baterías de ion-litio demanda ajustes en capacitación, procedimientos y equipamiento. La inversión en preparación valdrá la pena al enfrentar eficientemente un incendio con estas características, protegiendo mejor la vida de los bomberos, de los trabajadores industriales y minimizando los daños a la propiedad y al medio ambiente.

Conclusión

La transición hacia maquinaria eléctrica con baterías de ion-litio en sectores industriales trae beneficios operativos y ambientales, pero también introduce **riesgos significativos que los bomberos, primeros y segundos respondedores deben conocer y gestionar**. Contar con información técnica actualizada sobre estas baterías –sus modos de falla, comportamiento en incendios, métodos de extinción y normativas de seguridad– es de vital importancia para los cuerpos de bomberos. Los ejemplos analizados muestran que los incendios con baterías de litio **no son incidentes ordinarios**: pueden escalar rápidamente, durar mucho más, requerir recursos excepcionales y poner en peligro a los intervinientes de una emergencia de maneras novedosas y a veces inesperadas.

Por ello, la **preparación integral** es la mejor herramienta: desde la prevención en las propias industrias (diseños seguros, mantenimiento, cumplimiento normativo) hasta la capacitación y equipamiento de los bomberos y brigadas de emergencia, pasando por políticas públicas claras que apoyen estas medidas. La experiencia internacional y las mejores prácticas proporcionan una hoja de ruta valiosa. Adoptándolas localmente, se podría reducir la incidencia de estos siniestros y responder de forma más segura y eficaz cuando ocurran, protegiendo tanto a las personas como a la infraestructura crítica en nuestra creciente era de la electrificación industrial.



Fuentes:

- ♣ Toyota Material Handling (2020). *Baterías de litio: riesgos y prevención*. Blog Toyota Forklifts
- ♣ Benergy Tech (2024). *Precauciones de seguridad con baterías de litio para montacargas*. Artículo web
- ♣ National Fire Sprinkler Association (2023). *Lithium-Ion Battery Fires and Fire Protection*. NFSA Blog
- ♣ National Transportation Safety Board – NTSB (2020). *Safety Risks to Emergency Responders from Lithium-Ion Battery Fires in Electric Vehicles*. Report SR-20-01
- ♣ IF Insurance (2021). *Li-ion powered fork-lifts – Hazard info sheet*. If Industrial©
- ♣ ARIA (2018). *Base de datos de accidentes industriales (Ministerio de Transición Ecológica, Francia) – Incidente N°48627, batería de montacargas*
- ♣ OSHA (2021). *Lithium-ion Battery Safety (OSHA FS-4480)*
- ♣ CTIF (2024). *NFPA propone nueva norma de seguridad de baterías (NFPA 800)*
- ♣ CTIF (2024). *Incidentes de baterías de litio – varios artículos de noticias*
- ♣ Northern Ontario Business (2021). *Underground EV fire in mine – lessons learned*
- ♣ LinkedIn (2024). *NFPA desaconseja extintores clase D en baterías Li-ion*
- ♣ Otros (NFPA, Redway, NFPA EV Safety, etc.)



Maquinaria y vehículos eléctricos con baterías de ion-litio en la industria: riesgos, normativas y mejores prácticas

Links de artículos:

Li-ion Powered Fork Lifts

https://www.if-insurance.com/globalassets/industrial/files/rm-library/new-hazard-infosheets/2000984_li-ion_forklift.pdf

Underground electric vehicle fire provides teaching moment for Sudbury miner - Northern Ontario Business

<https://www.northernontariobusiness.com/industry-news/mining/underground-electric-vehicle-fire-provides-teachingmoment-for-sudbury-miner-3282728>

Baterías de litio: riesgos y prevención

<https://blog.toyota-forklifts.es/baterias-litio-riesgos-y-prevencion>

loir-et-cher.gouv.fr

[https://www.loir-et-cher.gouv.fr/content/download/18014/115139/file/3\)%20Batterie_chariot.pdf](https://www.loir-et-cher.gouv.fr/content/download/18014/115139/file/3)%20Batterie_chariot.pdf)

¿Qué precauciones de seguridad se necesitan al utilizar baterías de litio para montacargas? | energía

<https://www.benergytech.com/es/what-safety-precautions-are-needed-when-using-forklift-lithium-batteries.html>

Lithium-Ion Battery Fires and Fire Protection - National Fire Sprinkler Association

<https://nfsa.org/2023/01/12/lithium-ion-battery-fires/>

Lithium-ion Battery Safety

<https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA4480.pdf>

Safety Risks to Emergency Responders from Lithium-Ion Battery Fires in Electric Vehicles

<https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Pages/HWY19SP002.aspx>

Información de seguridad de vehículos eléctricos - NFPA

<https://www.nfpa.org/es/education-and-research/electrical/electric-vehicles>

Electric semi-truck lithium battery fire took 189,000 litres / 50,000 gallons of water to extinguish, according to NTSB reports | CTIF - International Association of Fire Services for Safer Citizens through Skilled Firefighters

<https://ctif.org/news/electric-semi-truck-lithium-battery-fire-us-interstate-highway-i-80-took-189000-litres-water>

La NFPA (National Fire Protection Association) desaconseja el uso de extintores de clase D para combatir incendios originados en baterías de ion litio

<https://es.linkedin.com/pulse/la-nfpa-national-fire-protection-association-el-uso-de-s%C3%A1ez-gonzalez-lbpde>

[PDF] Tests de incendios en Baterías de Litio-ion

https://hct-world.com/wp-content/uploads/2023/09/CH_F5_AM_L_Chronology-of-Lithium-ion-Battery-FireTesting_Spanish.pdf

La NFPA propone una nueva norma para la seguridad de las baterías | CTIF International Association of Fire Services for Safer Citizens through Skilled Firefighters

<https://ctif.org/es/news/la-nfpa-propone-una-nueva-norma-para-la-seguridad-de-las-baterias>

UNE-EN IEC 62619:2022 (Ratificada) Acumuladores con electrolito

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0070001>



Maquinaria y vehículos eléctricos con baterías de ion-litio en la industria: riesgos, normativas y mejores prácticas

Mantenimiento de Baterías de Montacargas Eléctricos

<https://www.logisnextamericas.com/es-mx/logisnext/resources/electric-forklift-battery-maintenance-tips>

Incendios por baterías de litio que ocurrieron en Nueva York, en 2023

<https://www.univision.com/local/nueva-york-wxtv/incendios-baterias-litio-nueva-york-17-muertos-y-decenas-heridos-2023fotos>

Cuerpo de Bomberos de Chile adquiere carro bomba eléctrico

<https://latamobility.com/en/chilean-fire-department-acquires-electric-pump-truck/>

Bomberos de Santiago de Chile estrenan primer camión cisterna

<https://latamobility.com/bomberos-de-santiago-de-chile-estrenan-primer-carro-bomba-electrico-en-latinoamerica/>

Incendio en una fábrica de baterías de Corea del Sur – NFPA

<https://www.nfpa.org/es/news-blogs-and-articles/blogs/2024/06/24/south-korea-battery-factory-fire-highlights-need-for-better-batteryregulation>

