



El Evento Carrington en tiempos digitales

Miguel Guerrero
rupestreguerrero@gmail.com

No hizo falta que durara mucho. 8 horas bastaron en nuestra ciudad, Gandía, para recordarnos lo frágil que puede ser todo. El 28 de abril de 2025, España y Portugal quedaron a oscuras. No hubo guerra, no hubo atentado, ni siquiera un desastre natural visible. Solo un apagón. Un colapso eléctrico generalizado que paralizó trenes, detuvo hospitales, congeló la economía digital y sembró el desconcierto en millones de personas.

Aunque pronto todo volvió la normalidad, lo que sentimos fue una diminuta muestra de lo que podría ocurrir si la Tierra recibiera el impacto directo de una tormenta solar extrema. Un evento tipo Carrington no nos dejaría a oscuras durante unas horas, sino que podría alterar nuestro modo de vida durante semanas o incluso meses. Esta vez fue solo un aviso. Pero, ¿y si la próxima vez no lo es? ¿Qué habría pasado si aquella interrupción hubiera sido el prólogo de algo mayor? ¿Qué pasaría si el Sol, como ya hizo en 1859, volviera a lanzar una llamarada lo suficientemente intensa como para envolver la Tierra en un ataque electromagnético brutal?

En este artículo no hablaremos de ciencia ficción, sino de una posibilidad real, documentada y cada vez más temida por astrónomos, ingenieros y estrategas de seguridad. Analizaremos qué son las tormentas solares, cómo nos afectan y qué ocurriría si hoy, en pleno siglo XXI, una tormenta del calibre Carrington (Fig. 1) impactara contra nosotros. Día a día, paso a paso. Con el apagón del 28 de abril como aviso de que no todo lo que depende de la tecnología es tan sólido como parece.

Una estrella tranquila que de vez en cuando se enfada

Sabemos que el Sol es una enorme bola de plasma incandescente, con un diámetro



Figura 1: Ilustración artística que muestra el impacto visual de una tormenta solar sobre el campo magnético de la Tierra.

más de cien veces mayor que el de la Tierra, y que en su núcleo se producen reacciones nucleares que llevan funcionando miles de millones de años. Pero, en realidad, sabemos menos de lo que creemos. Su interior sigue siendo, en gran medida, un misterio. No tenemos acceso directo, y solo podemos inferir su comportamiento por lo que observamos en su superficie o en los efectos que provoca.

Lo que sí sabemos es que el Sol no es estático. Cada unos 11 años entra en una fase de mayor actividad conocida como ciclo solar. Durante estos picos, se multiplican las manchas solares, zonas más frías de alta actividad magnética, y junto a ellas aparecen fenómenos violentos como fulguraciones, llamaradas, y eyecciones de masa coronal (CME, por sus siglas en inglés). Algunos científicos han llegado a plantear que podría tratarse de una estrella variable de largo período, con ciclos tan amplios que podrían estar relacionados con grandes cambios climáticos terrestres, como las glaciaciones. Aunque esto no está confirmado, es un indicio de lo poco que comprendemos realmente a nuestra estrella.

Existen ciclos más largos que el de 11 años, como el ciclo de Gleissberg, que dura entre 80 y 100 años y podría influir en variaciones más sutiles del clima y la actividad solar. Es

una modulación de la amplitud del ciclo de 11 años. Cuando el ciclo de Gleissberg está en su fase baja, los ciclos de 11 años tienden a ser más débiles. Se ha relacionado con períodos de enfriamiento climático (como el Mínimo de Dalton, finales del siglo XVIII, principios del XIX). También existe el ciclo de Suess/de Vries (~200–210 años), identificado por variaciones en los isótopos de carbono-14 y berilio-10. Coincide con grandes mínimos solares como el Mínimo de Maunder. Podría estar relacionado con cambios climáticos prolongados en la Tierra. También el ciclo de Eddy (~1000 años), propuesto más recientemente y basado en reconstrucciones solares a largo plazo, se asocia a períodos prolongados de máximo o mínimo solar como el Óptimo Climático Medieval y la Pequeña Edad de Hielo. Ciclos de Hallstatt o Bray (~2.300 años), detectados en análisis de núcleos de hielo y sedimentos marinos, podrían reflejar modulaciones más profundas en la actividad solar o influencias externas (como interacciones galácticas o planetarias).

La actividad solar, que incluye un evento tipo Carrington, está relacionada con los ciclos de actividad. Pero todos estos ciclos de actividad solar no son tan regulares ni previsible como el de 11 años, aunque parecen influir en el clima terrestre a largo plazo y podrían estar detrás de fenómenos como las glaciaciones menores o los períodos climáticos anómalos. Sin embargo, su origen físico exacto y su conexión directa con el Sol aún no está plenamente comprendida, lo que refuerza la idea de que conocemos menos del Sol de lo que creemos.

Cuando el Sol nos apunta directamente

Aunque desde la Tierra el Sol nos parezca un disco tranquilo y constante, desconocemos cómo funcionan sus diferentes ciclos de actividad, y puede que tenga comportamientos inesperados. Alguno de ellos puede tener

consecuencias devastadoras para nuestro planeta.

En el contexto del clima espacial, se suelen confundir varios términos. Por un lado, las fulguraciones solares (o llamaradas) son explosiones de energía en la superficie del Sol que liberan radiación, especialmente en forma de rayos X. Estas se clasifican con letras según su intensidad: clase C (débiles), M (moderadas) y X (muy intensas, siendo X10 o superior extremadamente raras). Estas llegan prácticamente de inmediato, porque la radiación ultravioleta y los rayos X viajan a la velocidad de la luz, lo que significa que en tan solo 8 minutos sus efectos ya están afectando a la atmósfera terrestre, alterando las comunicaciones por radio de alta frecuencia y provocando interferencias en satélites. Por otro lado, las eyecciones de masa coronal CME (Fig. 2) son enormes nubes de plasma y campo magnético que el Sol lanza al espacio; si se dirigen hacia la Tierra, pueden provocar tormentas geomagnéticas. Para medir sus efectos se usan tres escalas: la escala R (de 1 a 5) para los apagones de radio causados por las fulguraciones, la escala S (de 1 a 5) para los niveles de radiación solar que afectan a satélites y astronautas, y la escala G (de 1 a 5) para las tormentas geomagnéticas provocadas por las CME. Es decir, fulguraciones y CME son fenómenos distintos, pero pueden ir asociados y provocar consecuencias que se clasifican con estas escalas. A mayor número, mayor impacto.

El verdadero peligro viene cuando una fulguración va acompañada de una eyección de masa coronal (CME). En este caso, no es solo radiación, hablamos de una nube de plasma solar cargado de partículas y campos magnéticos que viaja por el espacio a cientos o incluso miles de kilómetros por segundo. Es materia, no energía pura, por eso es mucho más lenta. Si la Tierra está en su trayectoria, esa nube puede tardar entre 15 y 72 horas en llegar. Ese margen de tiempo es, en

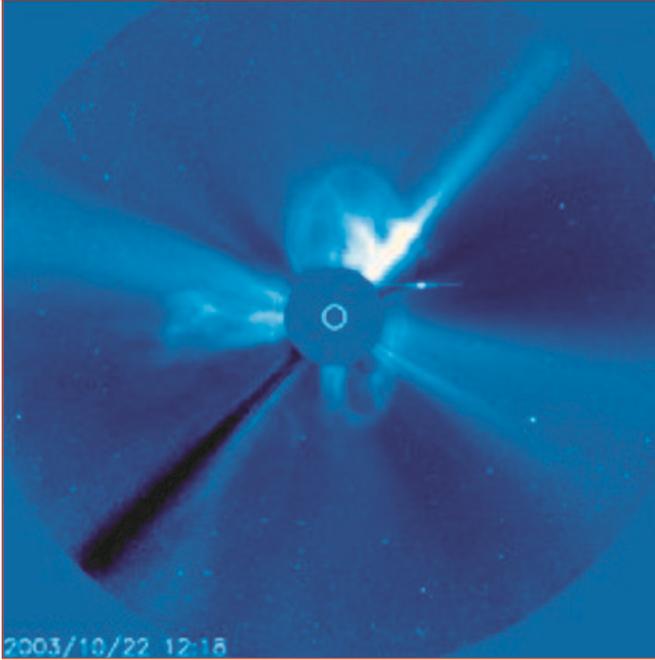


Figura 2: CME dirigida a la Tierra (Coronógrafo SOHO, 22 de octubre de 2003)

teoría, suficiente para dar una alerta global, pero la capacidad de respuesta de nuestras infraestructuras es limitada, y la coordinación internacional aún más.

Cuando una CME impacta contra la magnetosfera terrestre, se genera una tormenta geomagnética. Las partículas cargadas provocan corrientes eléctricas inducidas en cables, transformadores y redes de alta tensión. Esto puede causar apagones masivos, daños en satélites, pérdida de navegación GPS, fallos en radares y sistemas de control aéreo, y hasta problemas en oleoductos y redes de comunicación submarinas. Todo esto sin dañar físicamente a las personas, pero sí afectando al entorno tecnológico del que dependemos completamente.

Lo más preocupante es que la intensidad de estos fenómenos puede variar enormemente. Algunas CME pasan de largo o tienen un impacto menor, mientras que otras, como la de Carrington, podrían colapsar la sociedad moderna. Y no hay un patrón fiable que nos diga cuándo ocurrirá la próxima. De ahí la

importancia de entender no solo cómo se forman, sino qué podemos hacer para estar preparados.

¿Y si el evento Carrington no es tan raro como pensamos?

El Evento Carrington de 1859 es, hasta ahora, la tormenta geomagnética más intensa jamás registrada en la Tierra. Sin embargo, debemos recordar que nuestra capacidad para detectar y medir tormentas solares con precisión es extremadamente reciente en términos históricos. La telegrafía apenas tenía unas décadas cuando ocurrió Carrington, y la monitorización espacial del Sol no empezó hasta mediados del siglo XX. Por tanto, no sabemos cuántos eventos similares (o incluso más intensos) pudieron haber ocurrido en siglos pasados sin dejar rastro visible en las sociedades preindustriales. Puede que sean más habituales de lo que imaginamos. En realidad, el Sol podría haber lanzado decenas de tormentas comparables a Carrington en los últimos milenios, pero sus efectos habrían pasado desapercibidos en una época sin redes eléctricas, satélites ni telecomunicaciones. El ser humano habría visto quizás auroras intensas o perturbaciones en la brújula, pero nada que amenazara el orden social o económico.

Estudios recientes de núcleos de hielo en Groenlandia y la Antártida han revelado picos súbitos de radiación cósmica que podrían estar relacionados con supertormentas solares. Uno de los más llamativos ocurrió alrededor del año 774 d.C., conocido como el evento Miyake, cuyo origen exacto aún se debate, pero que bien podría ser otra tormenta solar extrema, posiblemente incluso superior al evento Carrington. Otros eventos Miyake ocurrieron en 7176 a. C., 5259 a. C., 660 a. C., y el mencionado de 774 d. C. Sin embargo, estos eventos no han tenido consecuencias tecnológicas porque ocurrieron antes de la era industrial.

Esto sugiere que lo verdaderamente excepcional no es la tormenta en sí, sino nuestra vulnerabilidad actual. Hoy dependemos de la electricidad y los sistemas digitales para absolutamente todo: energía, comunicación, transporte, salud, banca... En otras palabras, el verdadero "evento raro" es el impacto catastrófico, no tanto la tormenta en sí.

¿Qué pasaría si el Sol decidiera repetir el evento Carrington ahora, en pleno siglo XXI?

Fue en 1859, cuando el Sol envió un mensaje claro y aterrador. A pesar de que no ocurrió nada importante, todo lo que hoy en día tenemos construido en la Tierra podría verse afectado por una sola ráfaga de energía cósmica como aquella. Aquél año Richard Carrington se dio cuenta casi por accidente. Mientras observaba y dibujaba manchas solares con su telescopio proyectado sobre una pantalla (Fig. 3), vio repentinamente dos intensos destellos de luz blanca (una fulguración solar) en la superficie del Sol. El fenómeno duró apenas cinco minutos. Al notar que algo inusual ocurría, anotó la hora exacta. Diecisiete horas más tarde, la Tierra fue golpeada por la tormenta geomagnética más potente registrada, lo que confirmó, por primera vez, que el Sol podía afectar directamente nuestro planeta.

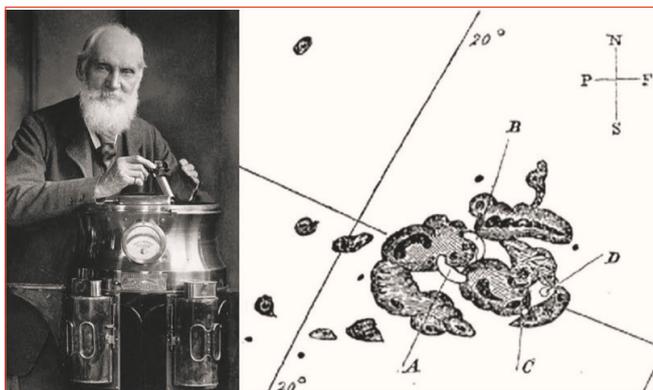


Figura 3: Richard Carrington y un primer boceto de la tormenta solar de 1859.

Lo que sucedió fue que la eyección de masa coronal liberó una cantidad de partículas cargadas tan enorme que la magnetosfera terrestre no pudo contenerla. En apenas 17 horas, esa onda electromagnética recorrió el espacio y alcanzó la Tierra. El resultado fue impresionante. Los sistemas de telégrafo (la forma más avanzada de comunicación en aquella época) se vieron interrumpidos, creando chispas en los cables y hasta incendiando algunos de los aparatos.

Si Richard Carrington no hubiera observado y documentado la fulguración solar de 1859, el llamado Evento Carrington probablemente habría pasado desapercibido como una simple anomalía técnica en el sistema telegráfico, sin conexión evidente con el Sol. En aquella época no se comprendía bien la relación entre la actividad solar y los efectos en la Tierra, por lo que sin su testimonio, los fallos eléctricos y las intensas auroras se habrían atribuido a causas desconocidas o atmosféricas. Su observación, justo antes del impacto geomagnético, permitió establecer por primera vez un vínculo directo entre una erupción solar y sus consecuencias en nuestro planeta, marcando así el nacimiento de la meteorología espacial.

Pero, a pesar de su fuerza, el impacto fue más bien limitado, pues en aquella época no dependíamos de tecnología electrónica avanzada. No había satélites, ni redes eléctricas interconectadas, ni internet. Si hoy un fenómeno similar ocurriera, las consecuencias serían desastrosas. Y sin embargo, un evento de esa magnitud no ha vuelto a ocurrir... aún.

La pregunta es: ¿qué pasaría si el Sol decidiera repetir el fenómeno Carrington ahora, en pleno siglo XXI, con toda nuestra infraestructura global a la intemperie? (Fig 4).

Imaginemos que, de repente, los científicos detectan una llamarada solar fuera de lo común. No es algo que normalmente nos

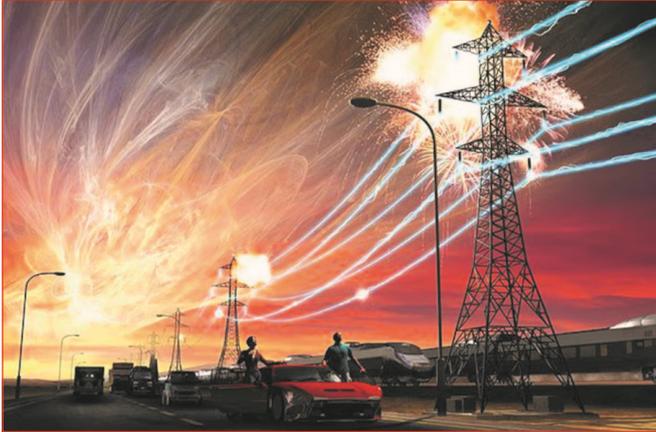


Figura 4: Representación de un posible problema con las torres de red eléctrica.

preocupe, los telescopios y los satélites del espacio exterior ya monitorean constantemente al Sol, y hay muchos tipos de fulguraciones y tormentas menores que no afectan a nuestros sistemas. Pero esta vez es diferente. La alerta es grave. En las siguientes horas, el Sol suelta una Eyección de Masa Coronal tan potente que nos da la señal de que un desastre se avecina. ¿Cómo afectaría esto al mundo actual?

Día 0: El Sol dispara la señal

Todo empieza con una explosión solar. El Sol lanza una enorme cantidad de partículas cargadas hacia la Tierra, disparando un tsunami electromagnético. Desde el centro de observación solar de Boulder, Colorado, los gráficos muestran una fulguración clase X9, una de las más intensas en décadas. Minutos después, los telescopios detectan una eyección de masa coronal (CME) disparada directamente hacia la Tierra. La onda de choque viaja a más de dos mil kilómetros por segundo.

Los científicos tienen entre 15 y 18 horas de margen. Ese es el tiempo estimado que tardará el plasma solar en alcanzarnos. Y en ese lapso, toca decidir cómo avisar al mundo sin sembrar el caos. El protocolo ya existe, aunque pocos lo conocen. La NASA y la NOAA (Administración Nacional Oceánica

y Atmosférica) alertan de inmediato a los centros de protección civil de varios países, y algunos gobiernos activan sus comités de emergencia. Los medios de comunicación reciben una nota oficial:

“Una tormenta geomagnética severa procedente del Sol puede afectar comunicaciones, satélites y redes eléctricas durante las próximas 24 horas. Se recomienda a la población seguir las instrucciones oficiales y evitar desplazamientos innecesarios.”

En televisión, los presentadores adoptan ese tono neutro y calmado que solo se usa cuando pasa algo verdaderamente importante. Pero fuera de cámara, los redactores revisan titulares de hace años como la “Tormenta Carrington”, el evento que pudo destruirlo todo. Algunos medios sensacionalistas ya han lanzado alertas rojas, mientras en redes sociales empieza a hervir la paranoia. En muchos hogares, sin embargo, el mensaje llega diluido, incompleto, o simplemente no llega. Y mientras tanto, el Sol sigue rugiendo.

Día 1: La tormenta llega

Mientras las primeras luces del amanecer se encienden (en aquellos lugares donde aún hay electricidad), el desconcierto es total. 24 horas después, las partículas solares ya están aquí. La magnetosfera terrestre comienza a experimentar un impacto sin precedentes. Las auroras boreales, que normalmente solo se ven en las zonas cercanas a los polos, empiezan a desplegarse en latitudes más bajas. Lo que parece un espectáculo impresionante se convierte rápidamente en algo más preocupante. En la Tierra, la mayoría de las personas no notan nada. Pero las comunicaciones empiezan a alterarse. Los sistemas de GPS de los aviones y barcos dejan de funcionar correctamente. Las telecomunicaciones por satélite se interrumpen por breves momentos, sin que aún podamos entender el alcance completo del evento. Pero lo peor está por llegar.

En la comunidad científica, el ambiente es una mezcla de frustración y reivindicación. Llevaban años advirtiendo, proponiendo simulacros, protocolos de emergencia, mejoras en la protección de infraestructuras clave. Incluso algunos hacen referencia a este mismo artículo que ahora estamos leyendo en esta revista Huygens de la Agrupación Astronómica de la Safor (AAS). Pero el presupuesto se recortó, y las advertencias se archivaron como hipótesis improbables. En universidades y centros de investigación, los expertos se organizan como pueden. Sin internet ni telefonía estable, recurren a emisoras de radioaficionados, satélites de órbita alta que aún no han fallado, o incluso transmisiones por onda corta. Se buscan datos, respuestas, explicaciones. Y sobre todo, predicciones: ¿cuánto durará esto? ¿Qué viene después?

En los medios de comunicación, los presentadores se ven obligados a improvisar. Muchas redacciones están paralizadas. Los sistemas de emisión digitales no funcionan. Vuelven las cámaras analógicas, los micrófonos de reserva y las grabadoras de cinta. Algunos canales logran emitir en directo, otros quedan en negro. Los informativos que sí logran salir al aire transmiten confusión y contradicción: "Se está evaluando el alcance", "Ha sido un fallo eléctrico sin relación con el Sol", "No hay motivos para alarmarse". Pero la realidad contradice esos mensajes. Y cuando la gente descubre que lo que ocurre sí estaba anunciado (y no se hizo nada), la credibilidad se resquebraja.

Y en la política, los primeros en hablar lo hacen desde un atril improvisado, rodeados de generadores. Algunos minimizan. Otros culpan. Otros simplemente desaparecen. En las grandes capitales, los gobiernos convocan consejos de emergencia sin saber si llegarán todos los ministros. Las decisiones se toman con fragmentos de información y mucha presión. Mientras tanto, crecen las críticas por la falta de preparación. Las redes sociales

(cuando vuelven por ratos) son una hoguera de indignación. El ciudadano común se pregunta: ¿Quién estaba al mando cuando todo se apagó?

Día 2: El apagón comienza

Para cuando la tormenta alcanza su pico, los sistemas eléctricos más vulnerables de la Tierra empiezan a fallar. En América del Norte, Europa y Asia, las líneas de alta tensión comienzan a sobrecalentarse debido a las corrientes inducidas por la tormenta. En cuestión de horas, enormes regiones quedan sin electricidad. Las ciudades se sumergen en la oscuridad (Fig 5), y las infraestructuras críticas se detienen. Los sistemas de salud, los bancos, las estaciones de tren y las redes de agua y gas comienzan a colapsar. Los semáforos dejan de funcionar, los hospitales no pueden operar a plena capacidad, y las economías se ven afectadas por el caos. Las consecuencias son aún mayores porque la red eléctrica mundial está interconectada. Un colapso en un continente afecta al resto. Y mientras tanto, las autoridades luchan por intentar controlar la situación.

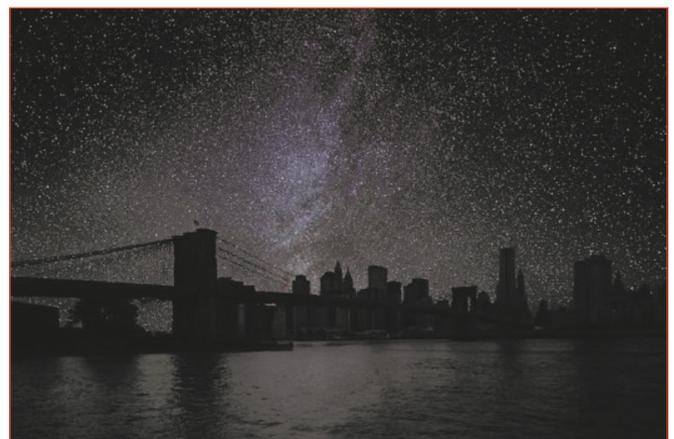


Figura 5: Escena de una ciudad sin electricidad.

La tormenta solar ha alcanzado su pico. Los observatorios solares lo confirman: "una eyección de masa coronal ha impactado de lleno en el campo magnético terrestre". Las consecuencias son inmediatas. Las redes eléctricas más sensibles, en América del Norte,

Europa y Asia, comienzan a sufrir sobrecargas sin precedentes. Las líneas de alta tensión, incapaces de resistir las corrientes inducidas, colapsan una tras otra. En cuestión de horas, millones de personas se quedan sin luz. Las ciudades se sumergen en la oscuridad. Semáforos apagados, ascensores detenidos, metros paralizados. En los hospitales, los generadores de emergencia aguantan, pero nadie sabe por cuánto tiempo. Las operaciones en curso se interrumpen. Las incubadoras, los respiradores, los equipos de diálisis... todos dependen de un suministro que ahora pende de un hilo.

Los aeropuertos quedan inutilizados. Los vuelos son cancelados en cadena. Las torres de control pierden contacto con aviones aún en el aire, que deben regresar a ciegas o aterrizar en pistas sin sistemas automáticos. En los hogares, la incomunicación se extiende, no hay televisión, ni radio convencional, ni internet. Solo queda el boca a boca y, con suerte, alguna emisora de radioaficionados que logra transmitir.

Los bancos cierran. Los cajeros automáticos no funcionan, las tarjetas se vuelven inútiles. Nadie puede acceder a su dinero. Las gasolineras tampoco sirven, las bombas son eléctricas. El transporte de mercancías se detiene. Las estanterías de los supermercados, ya algo vacías del día anterior, comienzan a ser saqueadas en algunos barrios. En otros, la gente simplemente espera en silencio, sin saber si esto será solo una jornada complicada como ocurrió en el apagón anterior o el inicio de algo mucho más largo.

Los gobiernos, atrapados en su propia dependencia tecnológica, intentan coordinar una respuesta, pero muchos sistemas internos también han caído. El correo electrónico oficial, los servidores, las redes privadas, nada funciona como debería. Algunos presidentes y ministros hacen comunicados por radio de onda corta o con ruedas de prensa improvisadas, grabadas con cámaras de

batería. Piden calma, tranquilidad, solidaridad. Pero no pueden garantizar nada.

La interconexión global se vuelve una debilidad. Lo que cae en un país, arrastra al vecino. Asia afecta a Europa, Europa a América. Es un dominó eléctrico. Y aún es demasiado pronto para saber hasta dónde llegará.

Día 3: La economía entra en pánico

A medida que avanzan los días, el impacto en la economía se vuelve devastador. Los sistemas bancarios, que dependen de comunicaciones instantáneas y de servidores de datos globales, están paralizados. Las bolsas de valores se desploman y el comercio se interrumpe globalmente. Las operaciones de las empresas, que en su mayoría dependen de internet, caen en picado. La producción de bienes y servicios también se detiene, ya que las fábricas no pueden funcionar sin suministro eléctrico.

El tercer día marca un punto de inflexión. El desconcierto de las primeras horas da paso a algo más inquietante... la certeza de que esto va para largo. Y con ella, una reacción en cadena que pone a prueba la resistencia de nuestra civilización. En las grandes ciudades, los supermercados están vacíos. El sistema logístico ha colapsado, sin gasolina, sin comunicaciones, sin pagos electrónicos. La gente ha comprado compulsivamente todo lo que ha podido el primer día. Ahora, no queda nada. Ni pan, ni leche, ni agua embotellada. Solo estanterías vacías, persianas bajadas, y colas inútiles ante puertas cerradas.

Los cajeros automáticos siguen apagados. Los bancos están cerrados. Nadie puede sacar dinero. Nadie puede pagar con tarjeta. Muchos comercios pequeños intentan sobrevivir aceptando pagos en efectivo, pero la falta de cambio y el miedo a robos los obliga a cerrar. En algunos barrios se organizan mercadillos de pequeños trueques.

Una garrafa de agua por dos latas de atún (Fig. 6).



Figura 6: El trueque surge como una necesidad que sustituye al dinero.

La gasolina se convierte en oro líquido. Las estaciones de servicio están cerradas, bloqueadas, protegidas por vigilantes o por nada. Las que aún tienen combustible se llenan de coches que esperan durante horas. Algunas se vacían tras altercados violentos. Peleas. Amenazas. Gente armada que toma lo que necesita, o lo que quiere.

Los hospitales se saturan. El colapso eléctrico afecta a las unidades de cuidados intensivos, a quirófanos, a laboratorios. Muchos pacientes no sobreviven. No por la tormenta solar, sino por la fragilidad de un sistema que dependía (ciegamente) de la electricidad constante.

Las ciudades se vuelven lugares peligrosos. A partir del atardecer, muchos vecinos se organizan en turnos de vigilancia. Se escuchan gritos, alarmas, disparos. Los cuerpos de seguridad recomiendan no salir de casa, pero ya nadie sabe si es más seguro dentro o fuera. En pueblos pequeños la situación es distinta: hay más cooperación, más redes de apoyo... por ahora. Pero la falta de recursos empieza a sentirse también allí. Y la tensión crece.

El tercer día revela una verdad incómoda, y es que nuestra sociedad, tan compleja y avanzada, estaba construida sobre una delgada capa de electricidad. Y esa capa ya no está.

Día 4 y más allá

El cuarto día sin electricidad ni comunicaciones marca un cambio de actitud. Pasado el shock inicial, la población comienza a asumir que no se trata de un simple fallo técnico. No es una avería. No es temporal. El mundo, tal como lo conocíamos, ha quedado en pausa indefinida. Si la tormenta solar es lo suficientemente intensa, las secuelas pueden durar mucho tiempo. Los satélites de comunicación, GPS, y los sistemas de alerta temprana tardan años en ser completamente reparados. Y, lo peor de todo, la humanidad tendrá que adaptarse a un mundo donde la tecnología es menos confiable de lo que pensábamos.

Pero, incluso en medio del caos, la sociedad comienza a reconstruirse. El hombre se adapta, como siempre lo ha hecho, a las circunstancias más duras. Es una carrera contra el tiempo para restablecer lo que antes parecía invulnerable. En muchas ciudades, el caos de los días anteriores empieza a calmarse, más por agotamiento que por organización. La policía y el ejército, sin medios electrónicos, recurren a sistemas tradicionales como patrullas a pie, avisos en papel, megáfonos desde vehículos. Las órdenes se dan de viva voz. La ley se vuelve manual.

En los barrios, los vecinos se reorganizan. Pequeñas comunidades de apoyo mutuo surgen espontáneamente. Se comparten alimentos, se cocina en grupo, se cuidan niños y ancianos. Las escaleras y patios vuelven a ser puntos de encuentro. Volvemos a vivir como en el siglo XIX, pero sin haberlo preparado. Ni mental ni materialmente. Algunas familias sacan linternas de dinamo, cocinan con leña o usan velas. Quienes vivieron la posguerra, o simplemente una infancia sin lujos, se adaptan mejor que las nuevas generaciones. Los adolescentes se enfrentan, quizás por primera vez, al aburrimiento total al estar sin móvil, sin pantallas, sin conexión.

Las zonas rurales resisten mejor. Acostumbradas a ciertas interrupciones, y con acceso directo a alimentos, se convierten en pequeños refugios. En cambio, las grandes ciudades siguen siendo el punto más vulnerable, con supermercados vacíos, agua limitada, transportes paralizados. El Estado se esfuerza por abastecer centros críticos, pero la logística, sin GPS ni redes, es una pesadilla.

No en todos los lugares reina la paz. En barrios más pobres, o con antecedentes de tensión, los saqueos y altercados no han cesado completamente. Pero incluso allí, surgen voces que llaman a la calma. Grupos de vecinos comienzan a ejercer de vigilantes voluntarios, no por violencia, sino por necesidad de orden. En algunos países, el gobierno considera implantar medidas excepcionales, no una ley marcial estricta, pero sí restricciones de movimiento, control de accesos y permisos de circulación. Una especie de "cuarentena eléctrica". Lo que ya vivimos durante la pandemia, ahora vuelve a escena, pero sin aplicaciones móviles ni códigos QR. Todo es físico, lento, limitado.

Las escuelas, institutos y universidades, lejos de cerrar como en la pandemia, permanecen abiertas en la mayoría de los casos. Sin posibilidad de clases virtuales, la educación vuelve a ser totalmente presencial y, en muchos lugares, improvisada. Se enseña sin tecnología, como antaño, y los centros educativos se convierten en puntos de encuentro comunitario. Los más jóvenes se adaptan con cierta rapidez, aunque la falta de información y contacto con familiares lejanos genera ansiedad. Las universidades, por su parte, reducen su actividad a lo esencial, y muchas investigaciones quedan suspendidas.

Con la imposibilidad de entretenerse con móviles, ordenadores o televisión, las calles (ahora sin coches) vuelven a llenarse de niños jugando, como en décadas pasadas. En medio de la incertidumbre y el apagón,

renace un tipo de socialización directa y espontánea, que muchos adultos no veían desde su infancia. Algunos encuentran en esta vuelta forzada a lo básico un pequeño respiro, aunque efímero, en medio de una sociedad paralizada.

En los medios tradicionales, aún inoperativos, no hay noticias oficiales. Las radios de onda corta emiten señales intermitentes. En algunas zonas con acceso a sistemas satelitales privados o de respaldo, se intenta enviar partes informativos. Pero la mayoría de la población vive en una burbuja de incertidumbre.

El clima, el cielo estrellado sin contaminación lumínica, y el silencio urbano, traen una belleza inquietante. Muchos, por primera vez, sienten el tiempo pasar despacio. Y ese silencio, aunque al principio parecía pacífico, ahora se siente como un aviso. Porque nadie sabe si mañana estaremos mejor, igual... o peor.

La recuperación

Cuando el último rayo de luz se apaga y el ruido del caos comienza a calmarse, nos enfrentamos a una pregunta fundamental: ¿cuánto tardaríamos en volver a la normalidad, si es que eso es posible? Las tormentas solares tipo Carrington son eventos tan extraordinarios que sus consecuencias se extienden mucho más allá de la simple interrupción de los sistemas eléctricos. La recuperación no solo implicaría restaurar los servicios básicos, sino también restaurar la confianza en un sistema que se ha visto tan vulnerado.

Los primeros días

Después de una crisis solar, los primeros días serían la etapa más crítica. A medida que el país (o los países afectados) comienzan a adaptarse a un nuevo orden, es probable que

la mayoría de las personas permanezca en un estado de alerta y frustración. Los servicios de emergencia, las fuerzas de seguridad y las autoridades luchan por reestablecer el orden mientras las comunidades empiezan a reorganizarse de manera autónoma.

En este período, las familias y grupos organizados tratarían de recuperar lo básico: agua, comida, y calefacción. Sin embargo, la falta de combustibles, suministros médicos y otros recursos básicos dificultaría mucho la supervivencia de las poblaciones en áreas rurales o en grandes ciudades donde el acceso a los servicios es limitado.

Semana 1-3

A medida que las primeras semanas pasan, los esfuerzos por restablecer la energía eléctrica en las grandes ciudades comenzarán a concentrarse en áreas estratégicas. Las plantas de energía solar y eólica, por ejemplo, podrían comenzar a generar electricidad más rápidamente que las centrales nucleares o las de carbón, que dependen de una infraestructura más compleja. Sin embargo, los problemas de abastecimiento y las dificultades técnicas podrían retrasar el proceso de restauración.

Las telecomunicaciones podrían ser una de las últimas en recuperarse. Las redes de satélites también habrían sufrido daños, y las conexiones internacionales se verían afectadas durante semanas, si no meses. En este escenario, los medios de comunicación serían esenciales para mantener a la población informada, pero también sería importante que se establecieran vías alternativas de comunicación.

A nivel social, la falta de dinero en efectivo seguiría siendo un problema grave, ya que el sistema bancario tardaría mucho en recuperarse. En las primeras semanas, las economías locales funcionarían de manera casi primitiva, con trueques y mercados informales. A medida que los primeros signos

de normalización se vayan produciendo, la confianza en el sistema financiero debe restaurarse paso a paso.

Mes 1-3

Para el final del primer mes, es probable que algunos sectores vitales, como los servicios de salud, el transporte público y las telecomunicaciones, comiencen a funcionar de manera más estable. Sin embargo, el abastecimiento de alimentos y combustibles seguirá siendo incierto. Las fábricas de producción también podrían tardar en reanudarse debido a la falta de energía y la escasez de materias primas. Es probable que el sistema de distribución global tarde meses en restaurarse por completo, lo que afectará la disponibilidad de productos importados.

Además, la reconstrucción de la infraestructura crítica será un proceso largo. Las plantas eléctricas y las redes de transmisión, que fueron severamente dañadas por las corrientes geomagnéticas inducidas, deberán ser reemplazadas o reparadas de manera urgente, lo que demandará recursos, mano de obra especializada y un gran esfuerzo coordinado entre gobiernos y empresas.

Meses 6-12

A medida que el primer año transcurre, la situación podría mejorar en muchas áreas, pero la sensación de normalidad será relativa. Las grandes ciudades, con mayor acceso a recursos y tecnología, podrían empezar a ver una reactivación considerable. Sin embargo, las zonas más aisladas y las economías más pequeñas seguirían enfrentando problemas significativos.

La restauración de los servicios financieros podría ser uno de los mayores desafíos. El sistema bancario mundial, altamente interconectado, necesitaría reconstruirse a partir de las cenizas de la tormenta. Las criptomonedas podrían surgir como una

alternativa temporal para las transacciones, pero su adopción generalizada no ocurriría rápidamente.

La recuperación en términos sociales podría ser aún más lenta. El miedo y la desconfianza, aunque disminuyan, podrían persistir en las personas durante muchos años. Las secuelas psicológicas de un evento tan traumático son profundas, y el impacto de la tormenta solar podría cambiar la forma en que las personas ven la tecnología y las infraestructuras globales.

Años después

Aunque la mayoría de los servicios vitales se restaurarán a lo largo de los siguientes años, es probable que la sociedad nunca vuelva exactamente a la normalidad que conocíamos antes del evento. El mundo se habría transformado de manera irreversible. La forma en que consumimos energía, nos comunicamos y gestionamos la información cambiaría para siempre.

Los países que sufrieron el impacto más grave tendrán que adaptarse a una nueva realidad económica, con desafíos importantes de reconstrucción, mientras que aquellos menos afectados aprenderán de la experiencia y comenzarán a tomar medidas para protegerse en el futuro.

La necesidad de una preparación y prevención continua ante el riesgo solar

Aunque parece sacado de una novela o de una película de ciencia ficción, lo que hemos narrado anteriormente es lo más parecido un escenario real de lo que podría pasar. La realidad de una tormenta solar tipo Carrington es aterradora, no solo por la magnitud del evento en sí, sino por la manera en que podría dismantelar las infraestructuras modernas que damos por sentadas. En un mundo hiperconectado,

donde dependemos de la tecnología para casi todo, la preparación y prevención ante este tipo de amenazas no es solo una opción, es una necesidad urgente.

La necesidad de una alerta temprana

A diferencia de otros desastres naturales, como terremotos o huracanes, una tormenta solar no puede preverse con la misma precisión ni con el mismo tiempo de antelación. Si bien los telescopios y satélites espaciales nos permiten detectar las eyecciones de masa coronal en tiempo real, el retraso entre la erupción solar y la llegada de los efectos a la Tierra (de entre 12 y 48 horas) hace que la respuesta temprana sea muy limitada. Es probable que las autoridades puedan detectar el inicio de una tormenta solar, pero solo después de que haya ocurrido, y sus efectos estarían muy cerca de alcanzarnos.

Por lo tanto, la clave de la preparación se encuentra en la infraestructura que tenemos a nuestra disposición. Las empresas y gobiernos deben implementar protocolos de respuesta rápida para mitigar los efectos, como el apagado preventivo de satélites o sistemas eléctricos que puedan ser vulnerables. Sin embargo, esto solo sería efectivo si las alertas se emiten con suficiente antelación, algo que aún no se logra de manera eficiente.

Fortalecer nuestras infraestructuras

Las redes eléctricas, satélites y sistemas de telecomunicaciones (Fig. 7, página siguiente), que son los pilares de nuestra sociedad moderna, se encuentran entre los elementos más vulnerables en caso de una tormenta solar de gran magnitud. La energía eléctrica es imprescindible para el funcionamiento de casi todas las actividades humanas; sin ella, las ciudades quedarían a oscuras, las redes de comunicación colapsarían y las infraestructuras críticas quedarían inoperativas.

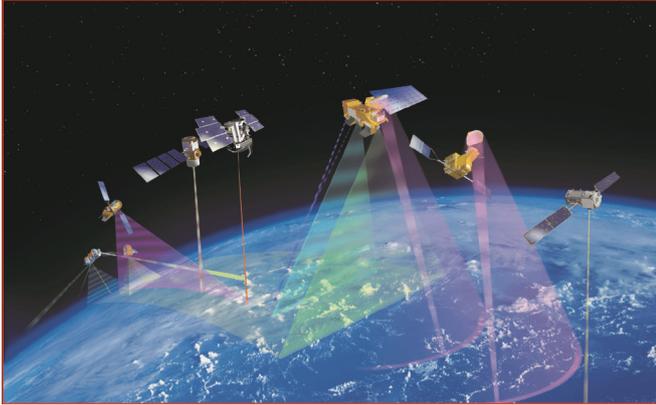


Figura 7: La red de satélites se vería seriamente afectada.

Una de las formas de mejorar nuestra preparación es mediante el reforzamiento de nuestras redes eléctricas, haciendo que sean más resilientes a los efectos de las partículas solares. Esto incluye desde la instalación de interruptores automáticos que puedan desconectar las redes de forma preventiva hasta el aislamiento de equipos sensibles en satélites, evitando así que se dañen por las radiaciones electromagnéticas. Sin embargo, las soluciones de este tipo son costosas y no están implementadas de forma global.

Conciencia pública y cooperación internacional

Además de la preparación personal, que nuestros gobiernos nos aconsejaron tomar (justo un mes antes del apagón de España y Portugal), se necesita una mayor conciencia pública sobre los riesgos de una tormenta solar de gran magnitud. La mayoría de las personas no se dan cuenta de lo vulnerables que son los sistemas que dan vida a la sociedad moderna. Por lo tanto, los gobiernos deben no solo educar a la población sobre este fenómeno, sino también cooperar a nivel internacional para crear políticas de prevención y resiliencia que puedan proteger al mundo entero.

La falta de cooperación internacional en la pandemia de COVID-19 fue un claro

ejemplo de cómo los países, incluso en un momento de crisis global, priorizan sus propios intereses sobre el bien común. Cada país, en lugar de colaborar y coordinar esfuerzos, proporcionó sus propias vacunas y estableció sus propias políticas. Este tipo de comportamiento fragmentado y egoísta solo retrasó la respuesta global ante un problema que afectaba a toda la humanidad. Si la humanidad hubiera actuado de manera más unificada, habríamos tenido una respuesta más eficiente, con menos vidas perdidas.

De manera similar, si una tormenta solar de gran magnitud ocurriera hoy, los países podrían verse tentados a actuar de forma aislada, priorizando sus propios recursos y sistemas. En lugar de trabajar juntos para mitigar los efectos y prepararse para lo peor, los países podrían enfrentar dificultades en sus esfuerzos por salvar sus economías y proteger a sus ciudadanos. El ejemplo de la pandemia demuestra que la cooperación internacional es importante para enfrentar cualquier crisis de escala global, y la tormenta solar es una amenaza que no conoce fronteras.

La importancia del dinero físico

En los últimos años, algunos países, incluida España, han iniciado el debate sobre la retirada progresiva del dinero en efectivo. Esta decisión, justificada por razones de eficiencia, control fiscal o lucha contra el fraude, podría suponer una vulnerabilidad crítica en caso de una tormenta solar severa. Un apagón tecnológico prolongado dejaría inutilizados los pagos digitales, los cajeros automáticos y las transferencias bancarias. En un escenario así, la economía cotidiana (comprar alimentos, repostar combustible, pagar medicamentos) se paralizaría por completo, salvo para quienes conservaran algo de dinero físico o medios alternativos de trueque. El efectivo, visto hoy como una reliquia, podría convertirse entonces en un recurso valioso, incluso esencial. En este

contexto, la resiliencia no solo debe pensarse en términos de redes eléctricas o satélites, sino también de algo tan básico como poder comprar una barra de pan cuando todo lo demás falla.

A unos afectaría más que a otros

Paradójicamente, los países más industrializados serían también los más afectados por una tormenta solar extrema. Cuanto mayor es la dependencia de las redes eléctricas, las telecomunicaciones, los satélites y los sistemas automatizados, mayor es el impacto de su colapso. En cambio, muchas comunidades de países menos desarrollados, donde aún se vive con una menor dependencia tecnológica, podrían adaptarse con mayor facilidad a la situación. No porque estén mejor preparadas, sino porque su día a día ya transcurre con menor intervención de la infraestructura digital y eléctrica. Este contraste debería hacernos reflexionar sobre los riesgos de una civilización hiperconectada y sobre la necesidad de diseñar sistemas más resilientes.

La paradoja de la inteligencia artificial

Justo cuando la inteligencia artificial está despegando a un ritmo vertiginoso, una tormenta solar de gran magnitud podría borrar en segundos los sistemas que la hacen posible. Miles de modelos, servidores y redes de entrenamiento quedarían inutilizados sin electricidad ni conectividad. Este escenario pone en evidencia nuestra creciente dependencia de tecnologías extremadamente vulnerables. La IA, símbolo del progreso, podría verse reducida a simple código inservible en chips quemados. Una civilización que avanza hacia la automatización total corre el riesgo de caer, de un momento a otro, en una especie de edad media digital. El mayor salto tecnológico de la humanidad, suspendido por una llamarada solar.

El camino hacia una infraestructura más resistente

A largo plazo, es necesario que la infraestructura tecnológica de la humanidad evolucione para adaptarse mejor a los retos que representan los fenómenos solares. Si bien algunas empresas ya están tomando medidas para mejorar la resistencia de sus equipos, como la NASA con sus satélites o las grandes empresas de energía, estas soluciones deben convertirse en una prioridad global. La clave será desarrollar una infraestructura más resiliente, que no solo dependa de la prevención, sino también de la recuperación rápida.

El escenario de una tormenta solar tipo Carrington (Fig 8) no es cuestión de si sucederá, sino de cuándo. Y mientras la humanidad sigue avanzando en su dependencia tecnológica, la preparación y prevención ante este tipo de amenazas deben ser una prioridad para todos, desde los gobiernos hasta los ciudadanos.

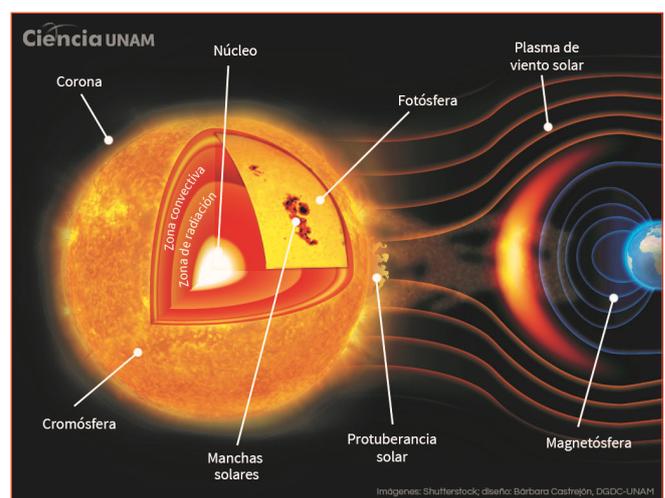


Figura 8: Esquema del funcionamiento del Sol y las erupciones solares.

Conclusiones finales

A lo largo de todo el artículo hemos analizado los impactos inmediatos y a largo plazo de una tormenta solar tipo

Carrington. El apagón del 28 de abril de 2025 funcionó como una advertencia de lo que nos podría suceder. Aunque sus efectos fueron limitados en el tiempo, sirvió para mostrar con claridad cuán expuesta está nuestra civilización tecnológica ante fenómenos naturales de origen solar. Lo que en el siglo XIX fue un simple contratiempo en el telégrafo, hoy podría paralizar ciudades enteras, aislar países, dejar fuera de servicio sistemas sanitarios, financieros, logísticos y de comunicación. La diferencia entre entonces y ahora no es la tormenta, sino nuestra dependencia casi absoluta de la electricidad.

Este tipo de eventos no son teóricos. Ocurren y volverán a ocurrir. La ciencia lo ha confirmado a través del estudio del Sol, de los registros geológicos, y de la historia. El riesgo es real. Y aunque contamos con conocimientos y herramientas para detectar y anticipar estos fenómenos, no siempre contamos con los protocolos, las inversiones ni la coordinación necesarios para mitigar sus consecuencias. La preparación no debe ser solo técnica, sino también social, educativa y política.

El apagón reciente nos mostró una versión atenuada de lo que podría suceder. Vimos dónde se produjeron los fallos, cómo respondió la población, y qué sistemas colapsaron de inmediato. Esta experiencia debe servirnos como punto de partida para reforzar infraestructuras críticas, revisar planes

de emergencia y fomentar una cultura de prevención. Porque si llega una tormenta solar extrema, no bastará con esperar a que vuelva la luz. ■

Referencias:

Space Weather Prediction Center (SWPC). (2021). Space Weather Overview. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Recuperado de <https://www.swpc.noaa.gov/>

National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2020). Solar Flares and CMEs: Understanding Solar Storms. NASA Solar System Exploration. Recuperado de <https://www.nasa.gov/solar>

Tsurutani, B. T., & Yulianto, E. (2019). The Solar Storm of 1859: A Carrington Event. Space Weather and Solar Wind Studies. Springer.

Jackman, C. M., & Fenton, J. (2022). The Impact of Solar Storms on Global Infrastructure. Journal of Space Weather and Technology, 18(4), 301-312. <https://doi.org/10.1007/jswt.2022.301>

Wheatland, M. S. (2018). Historical Overview of Solar Storms: From Carrington to Today. Astronomical Journal, 135(6), 2524-2535.

European Space Agency (ESA). (2021). Space Weather: A Growing Risk to Our Technological Society. Recuperado de <https://www.esa.int/spaceweather>

Siscoe, G. L., & Perry, J. D. (2020). Global Effects of Solar Magnetic Activity. Space Weather Journal, 22(7), 450-463.



TITAGUAS Serranía Alto Turia ha obtenido en 2017 la certificación de "Reserva Starlight" otorgada por la *Fundación Starlight* y avalada por la **UNESCO**.

Esta certificación acredita que no hay apenas contaminación lumínica, siendo un municipio respetuoso con el cielo oscuro para la Observación Astronómica.

‘Apaga una luz y enciende una estrella’ ESCUELA DE CIENCIAS “COSMOFISICA”

c/San Cristóbal, 46 - 46178 TITAGUAS
Valencia (Spain)