

ANECDOTAS E HITOS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Excelentísimo señor Rector Magnífico de la Universidad de Jaén, excelentísimas e ilustrísimas autoridades, miembros de la comunidad universitaria, señoras y señores:

1. INTRODUCCIÓN

Bienvenidos a esta exposición sobre las anécdotas e hitos en ingeniería eléctrica, un tema fascinante que combina ingeniería, historia y anécdotas curiosas. La ingeniería eléctrica es una columna vertebral de nuestra sociedad moderna, permitiendo que la electricidad llegue a nuestros hogares, industrias y ciudades. Hoy, recorreremos los hitos más importantes en su evolución, desde los primeros experimentos con electricidad hasta el coche eléctrico de hoy en día, salpicando el relato con anécdotas que muestran el lado humano y curioso de esta disciplina. ¿Están listos para encender la chispa del conocimiento? ¡Comencemos!

Capítulo 1 Edison y la guerra de las corrientes

La historia comienza mucho antes de los sistemas modernos, con observaciones antiguas de electricidad estática. En el siglo VI a.C., los griegos descubrieron que frotar ámbar generaba cargas, un fenómeno estudiado más tarde por William Gilbert en 1600, quien acuñó el término “electricidad” del griego “elektron” (ámbar). Gilbert, médico de la reina Isabel I, usó un “versorium”, una aguja pivotante, para detectar cargas, siendo uno de los primeros instrumentos eléctricos.

En 1745, **Píter van Musenbruk** inventó el frasco de Leyden, el primer condensador, que almacenaba cargas eléctricas. Un hito famoso fue el experimento de Benjamin Franklin en 1752, volando una cometa durante una tormenta para demostrar que el rayo es electricidad, recolectando carga en un frasco de Leyden. **Aunque se debate si realmente lo realizó**, su trabajo llevó a la invención del pararrayos. Una anécdota sugiere que Franklin, asistido por su hijo William, usó una cometa de seda con una llave metálica, pero pudo haber sido un experimento mental.

En 1800, Alessandro Volta inventó la pila voltaica, la primera batería, inspirado por los experimentos de Luigi Galvani con patas de rana, que se movían al tocarlas con metales diferentes. **Volta se dio cuenta de que la electricidad provenía de los metales, no de la rana**, marcando un avance crucial. En 1820, **Hans Christian Érsted** descubrió

accidentalmente el electromagnetismo durante una conferencia, notando que una aguja de brújula se desviaba con corriente eléctrica, un hallazgo que conectó electricidad y magnetismo.

Los sistemas eléctricos de potencia comenzaron con descubrimientos tempranos. En el siglo XIX, cuando la electricidad era más un espectáculo de salón que una herramienta práctica. Uno de los primeros hitos fue el trabajo de Michael Faraday en 1831, quien descubrió la inducción electromagnética, el principio detrás de los generadores y transformadores modernos.

Michael Faraday, nacido en 1791 en una familia pobre, se educó como encuadernador, **leyendo los libros que encuadernaba**. Asistió a conferencias de **Jámfri Deivi** y se convirtió en su asistente en la Royal Institution. Davy, al ser preguntado sobre su mayor descubrimiento, respondió: “Faraday”, reconociendo su genio. Faraday descubrió la inducción electromagnética en 1831, base de generadores y transformadores, y creó el primer motor eléctrico en 1821, mostrando la conversión de energía eléctrica a mecánica.

Este descubrimiento no fue solo un avance técnico; Faraday, un **hombre humilde sin formación matemática avanzada**,

demostró que la curiosidad y la experimentación podían cambiar el mundo.

Anécdota: En una demostración pública, un político le preguntó a Faraday para qué servía su invento. Faraday, con su característica agudeza, respondió: “Señor, aún no lo sé, pero estoy seguro de que algún día podrán gravarlo con impuestos”.
¡Y qué razón tenía!

Inventores como Jacobi (1834) crearon motores prácticos, y Stanley diseñó transformadores en 1885. Anécdotas incluyen a **Móritz Hérmán fon Yákobi** propulsando un bote con su motor con 14 personas, una anécdota que destaca su aplicación práctica o los primeros usos en vehículos eléctricos en el siglo XIX. Hoy, los motores son esenciales en electrodomésticos y vehículos eléctricos, impulsando la eficiencia energética. **Para mis colegas matemáticos, Karl Gustav Yákob Yácobi** es otro Yákobi, el de la matriz jacobiana, también utilizada en el estudio de los sistemas eléctricos de potencia.

Otro hito temprano fue la invención de la bombilla incandescente por Thomas Edison en 1879. Aunque **Jámfri Deivi** había demostrado el principio de la bombilla en 1802, Edison creó una versión comercialmente viable. Sin embargo, su sistema eléctrico usaba corriente continua (CC), lo que limitaba la transmisión a largas distancias.

La guerra de las corrientes

A finales del siglo XIX, Thomas Edison y Nikola Tesla protagonizaron la Guerra de las Corrientes. Edison promovía la corriente continua (CC), segura a bajas tensiones pero ineficiente para largas distancias. Tesla, respaldado por George Westinghouse, defendía la corriente alterna (CA), que podía transformarse a altas tensiones para **transporte y bajas tensiones** para uso, reduciendo pérdidas.

Edison, en un intento de desacreditar la CA, organizó demostraciones públicas electrocutando animales, como perros y caballos, con asistencia técnica de Harold Brown, y promovió la silla eléctrica, usando un generador AC de Westinghouse para ejecuciones, como la fallida de William Kemmler en 1890, descrita como “un espectáculo horrible” y comentada por Westinghouse: “Habrían hecho mejor usando un hacha”.

Edison predijo que Westinghouse mataría a un cliente en seis meses, y su compañía publicó un panfleto de 84 páginas en 1888 advirtiendo contra la CA. Sin embargo, la CA prevaleció en la Exposición Universal de Chicago en 1893, iluminada por Westinghouse, y el proyecto hidroeléctrico de Niagara Falls en 1895, transportando energía a Buffalo, Nueva York situada a 20 millas.

Chárlz Stáinmetz, matemático e ingeniero eléctrico de General Electric, fue clave en el desarrollo de sistemas CA. Una de las anécdotas más conocidas de Chárlz Stáinmetz ocurrió en la planta de Ford en **Ríver Rúsh**, Michigan, a principios del siglo XX. Ford tenía un **generador eléctrico gigantesco** que no funcionaba correctamente, y sus ingenieros no podían resolver el problema, lo que paralizaba la producción. Desesperado, Henry Ford recurrió a **Stáinmetz**, conocido por su genialidad en ingeniería eléctrica.

Steinmetz llegó a la planta, rechazó ayuda y pidió solo un cuaderno, un lápiz, una mesa y un camastro. **Durante dos días y dos noches, examinó el generador**, escuchándolo y realizando cálculos minuciosos. Finalmente, solicitó una escalera, una cinta métrica y una tiza. Subió al generador, midió con precisión y marcó una “X” en un punto específico, indicando que se retiraran exactamente 16 vueltas de la bobina en ese lugar. Los técnicos siguieron sus instrucciones, y el generador volvió a funcionar perfectamente.

Días después, Ford recibió una factura de Steinmetz por 10,000 dólares, una suma astronómica para la época (**equivalente a unos 300 automóviles Ford Modelo T**). Sorprendido, Ford pidió un desglose. Steinmetz respondió con una factura detallada: **“Hacer una marca de tiza: 1 dólar. Saber dónde hacer la marca: 9,999 dólares.”** Ford pagó sin más quejas,

reconociendo el valor del conocimiento de Steinmetz. Sus trabajos más reconocidos se basan en el análisis de los circuitos de corriente alterna donde preconizó el uso de los **números complejos** (notación simbólica).

Tesla, conocido por su memoria fotográfica y excentricidades como obsesión por el número tres, trabajó brevemente con Edison, pero se separó por disputas. La guerra terminó en 1892 con la fusión de Edison Electric y Thomson-Houston en **General Electric, controlando tres cuartos del negocio eléctrico en EE. UU.**

Los generadores, basados en la inducción de Faraday, y los transformadores, esenciales para CA, evolucionaron rápidamente. William Stanley diseñó el primer transformador práctico en 1885, usado en la electrificación de Great Barrington en 1886, el primer sistema completo de CA, mostrando su impacto.

Poco después, la construcción de la central hidroeléctrica de Niágara Falls en 1895, basada en el sistema de CA de Tesla, marcó el triunfo definitivo de la corriente alterna. Este proyecto fue un punto de inflexión, ya que permitió transportar electricidad a cientos de kilómetros, sentando las bases de los sistemas eléctricos modernos.

Edison más tarde admitió a George Stanley en 1908: “Dile a tu padre que me equivoqué”, reconociendo el potencial de la CA.

Hoy, los motores eléctricos son esenciales en electrodomésticos y vehículos eléctricos, con avances en eficiencia y control. Los vehículos eléctricos usan motores avanzados, reduciendo emisiones. La integración de semiconductores de banda ancha y la inteligencia artificial en sistemas de potencia mejora la eficiencia, con ejemplos en inversores predictivos y monitorización en tiempo real.

3. La expansión de los sistemas eléctricos

A principios del siglo XX, los sistemas eléctricos de potencia comenzaron a crecer rápidamente. Las redes eléctricas se expandieron, conectando ciudades y regiones. Un hito clave fue la creación de las primeras redes interconectadas en los años 1920, que permitían compartir energía entre diferentes centrales para mejorar la fiabilidad y eficiencia.

Los sistemas crecieron en redes locales a interconectadas. En los años 1920, el Reino Unido creó la National Grid, y en EE. UU., la Federal Power Commission de 1920 reguló ventas interestatales, seguida por la **Páblík Yutiliti Jolding Kómpani** de 1935. Proyectos clave incluyen la presa Hoover, completada en 1936, empleó a miles de personas durante la Gran Depresión donde tuvieron que enfrentarse a condiciones

extremas de trabajo. Una anécdota es la muerte de John Gregory **Tírni** y su hijo Patrick el mismo día, pero con una diferencia de 14 años, ambos mientras trabajaban en el proyecto de la presa Hoover.

Se construyeron plataformas de observación para turistas, y trabajadores especiales, conocidos como **háí skéilers**", se removieron rocas sueltas, enfrentándose a riesgos importantes. Su aparición en películas de Hollywood y Bollywood refleja su atractivo global, Superman (1978) o Transformers (2007).

Con relación a nuestra provincia, la Compañía Mengemor SA fue una empresa eléctrica fundada en 1904 en Madrid, por tres ingenieros: Carlos Mendoza Sáez de Argandoña, Antonio González Echarte y Alfredo Moreno Osorio. Su nombre proviene del acróstico de los apellidos de sus fundadores (Mendoza, González, Moreno). En la provincia de Jaén, Mengemor tuvo un papel relevante en el desarrollo de la energía hidroeléctrica y la electrificación de la región, especialmente en la zona minera de Linares y La Carolina.

En 1904, Mengemor comenzó a operar en Jaén con la construcción de la central hidroeléctrica del Salto de Vado de las Ollas en el río Guadalimar, destinada a suministrar energía

a las minas de Linares y La Carolina. A lo largo de los años, la empresa amplió su presencia en Jaén con proyectos como la central hidroeléctrica de Mengíbar (1916), la primera presa móvil construida en España, y el Salto de Escuderos (1911). Estas infraestructuras apoyaron la electrificación de explotaciones mineras y poblaciones locales.

Mengemor apostó por la energía hidroeléctrica, construyendo centrales en la cuenca del Guadalquivir. Su trabajo en Jaén incluyó el suministro eléctrico a áreas industriales y urbanas, contribuyendo al desarrollo económico de la región. Durante la Guerra Civil Española (1936-1939), las instalaciones de Mengemor en Jaén quedaron en zona republicana, mientras que otras, como las de Córdoba y Granada, estuvieron bajo control nacional. A pesar de los daños en algunas centrales (como La Vega, Porcuna y Lopera), la producción eléctrica creció en ambas zonas gracias a una gestión eficiente y a reparaciones rápidas.

Sin embargo, Mengemor se enfrentó con dificultades económicas debido a períodos de sequía que limitaron su capacidad de generación. En 1950, el Banco de Vizcaya, accionista mayoritario, forzó su fusión por absorción con la

Compañía Sevillana de Electricidad, poniendo fin a sus casi 50 años de actividad en 1951.

Mengemor fue pionera en la electrificación de Jaén y otras regiones de Andalucía, destacando por su enfoque en la energía hidroeléctrica y proyectos innovadores, como la navegabilidad del Guadalquivir. Su absorción por la Compañía Sevillana marcó el final de su trayectoria, pero sus infraestructuras contribuyeron al desarrollo eléctrico de la región, hoy gestionado por empresas como Endesa (a través de e-distribución, antigua Sevillana Endesa).

Volviendo a otros proyectos mundiales famosos, se incluyen la Tennessee Valley Authority (TVA) de 1933, electrificando áreas rurales, y globalmente, la presa de las Tres Gargantas en China, completada en 2006, con capacidad de 22,000 MW. Para su construcción se desplazaron a un millón de personas, pero se consiguió reducir las inundaciones.

En tecnología, la primera línea de 110 kV se construyó en 1912 en Alemania, y hoy en China, algunas operan a 1,000 kV. El transformador, inventado por William Stanley en 1885, fue esencial para la distribución CA.

Otro avance importante fue la introducción de los transformadores de alta tensión y las líneas de transporte de larga distancia. En los años 1930, países como Estados Unidos y la Unión Soviética comenzaron a electrificar regiones remotas, transformando la vida rural. Sin embargo, no todo fue perfecto: los primeros sistemas **eran propensos a fallos, y los apagones eran comunes.**

La era de los apagones y la resiliencia

Hablando de apagones, uno de los más famosos ocurrió en 1965 en el noreste de Estados Unidos, conocido como el Gran Apagón del Noreste. Este evento afectó a 30 millones de personas y dejó a Nueva York en la oscuridad durante 13 horas. La causa **fue un relé mal configurado** en una línea de transporte en Canadá, que desencadenó un efecto dominó.

Durante este apagón, surgieron historias curiosas, como la de personas atrapadas en ascensores que organizaron improvisadas sesiones de canto para mantenerse calmados. Además, el apagón inspiró cambios importantes en la regulación de las redes eléctricas, incluyendo la creación "**Norz Amérikán Eléktrik Rilaiabílití Kórporeishon** (NERC), que estableció estándares para prevenir fallos similares.

Este evento marcó un hito en la importancia de la estabilidad de la red. Los ingenieros comenzaron a implementar sistemas

de control más avanzados, como los relés de protección y los sistemas de monitorización en tiempo real.

Otros apagones famosos fueron

| Año | Apagón | Causa | Impacto |
|------|------------------------|--------------------|--|
| 2003 | Noreste EE. UU./Canadá | Error de software | 50 millones, 6 mil millones de dólares en pérdidas |
| 2012 | India | Sobrecarga estatal | 600 millones de dolares, mayor apagón registrado |

La revolución de las energías renovables y las redes inteligentes

En las últimas décadas, los sistemas eléctricos se han enfrentado un nuevo desafío: la transición hacia fuentes de energía renovables. La energía eólica y solar, aunque sostenibles, **son intermitentes**, lo que obliga a replantear cómo diseñamos y operamos las redes.

Un hito reciente es el desarrollo de las redes inteligentes (smart grids). Estas redes usan sensores, inteligencia artificial y comunicación en tiempo real para optimizar la distribución de energía. Por ejemplo, en 2010, países como Dinamarca comenzaron a integrar grandes cantidades de energía eólica

en sus redes, gracias a sistemas avanzados de pronóstico y balanceo.

Anécdota: En 2016, durante un día particularmente ventoso, Dinamarca generó el 140% de su demanda eléctrica con turbinas eólicas, exportando el excedente a sus vecinos. Esto no solo mostró el potencial de las renovables, sino también la importancia de las interconexiones entre países.

Otro avance es el uso de baterías de almacenamiento a gran escala, como las desarrolladas por Tesla en Australia (el proyecto Hornsdale). Estas baterías han estabilizado redes al almacenar energía renovable para usarla cuando no hay sol o viento.

CAPÍTULO 2 TESLA y LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS

Maquinas eléctricas

La evolución de las máquinas eléctricas, que incluyen motores, generadores y transformadores, es un fascinante viaje a través de la historia, la ingeniería y las anécdotas humanas, desde los primeros experimentos hasta las innovaciones actuales.

En 1834, Thomas Davenport construyó el primer motor eléctrico práctico, usando baterías para alimentar una pequeña prensa de impresión. **Sinób Gramma**, en 1873, **descubrió accidentalmente que su dinamo podía funcionar como motor** durante una exhibición en Viena.

Un hito clave fue el motor de inducción de Nikola Tesla en 1887-1888, revolucionando la industria con su simplicidad. Una anécdota famosa es que Tesla tuvo la idea mientras recitaba a Goethe, describiéndola como un “relámpago de inspiración”. Otro avance fue el transformador de William Stanley en 1885. Una historia interesante es que se mudó a Great Barrington por problemas de salud, donde hizo su demostración en 1886. Actualmente, los motores sin escobillas, inventados en 1962, impulsan vehículos eléctricos y drones, mostrando su impacto.

Nikola Tesla, nacido en 1856 en Smiljan (hoy Croacia), inventó el motor de inducción mientras trabajaba en Nueva York. La visión poética de Nikola Tesla no se refiere a una poesía en el sentido literario, sino a la manera profundamente imaginativa, casi mística, con la que concebía la ciencia, la tecnología y su relación con el universo. Tesla era un visionario cuya mente combinaba rigor científico con una perspectiva filosófica y estética sobre la energía, la naturaleza y el potencial humano.

Tesla veía la energía como una entidad omnipresente que conecta todo en el universo. Su fascinación por la electricidad no era solo técnica, sino profundamente filosófica, la consideraba una manifestación de la fuerza vital del cosmos. En su artículo “The Problem of Increasing Human Energy” (1900), describe la energía como un flujo que podía ser

comprendido y aprovechado para elevar a la humanidad. Esta idea tiene un matiz poético, ya que veía la electricidad como un medio para unir a las personas y armonizar la existencia con las leyes naturales. Una cita representativa fue “Cuando pienso en la energía, veo el universo como un gran organismo vivo, movido por un solo ritmo.”

Tesla tenía una capacidad extraordinaria para visualizar inventos en su mente antes de construirlos. Esta habilidad, que él describía como una especie de “visión mental”, era casi artística. En su autobiografía, “My Inventions” (1919), relata cómo podía “ver” máquinas funcionando con todo detalle, como si fueran reales. Esta capacidad de soñar despierto y materializar ideas refleja una sensibilidad poética, donde la imaginación trasciende lo técnico para convertirse en un acto creativo puro. **La imagen del sol girando le inspiró el principio del campo magnético rotatorio.**

Una humanidad conectada y elevada. Tesla soñaba con un mundo donde la energía libre y accesible eliminara las barreras entre las personas. Su proyecto de la Torre Wardenclyffe (1901-1917) buscaba transmitir energía eléctrica sin cables a nivel global, no solo para fines prácticos, sino para fomentar la paz y la unidad. Esta idea utópica, aunque irrealizable en su

tiempo, refleja una visión poética de un mundo interconectado, donde la tecnología libera a la humanidad de la escasez y el conflicto. Cita inspiradora: “El deseo que me guía en todo lo que hago es el deseo de aprovechar las fuerzas de la naturaleza para el servicio de la humanidad.”

Conexión con la naturaleza. Tesla tenía una sensibilidad casi espiritual hacia las fuerzas naturales. Creía que la humanidad debía trabajar en armonía con el universo, no en su contra. Su fascinación por fenómenos como los relámpagos (que estudió para desarrollar su bobina de Tesla) o las vibraciones electromagnéticas refleja una visión poética de la naturaleza como una sinfonía de fuerzas que podían ser descifradas y canalizadas. Su interés en las frecuencias de resonancia (como la idea de que ciertos dispositivos podían resonar con la Tierra misma) muestra cómo veía la tecnología como un diálogo poético con el planeta.

El inventor como poeta. Tesla se veía a sí mismo como un creador que iba más allá de lo práctico. En entrevistas, comparaba su trabajo con el de un artista que busca belleza y verdad. Sus ideas, a menudo incomprendidas en su época, tenían un carácter visionario que trascendía lo técnico para

adentrarse en lo filosófico y estético. **Por ejemplo, su obsesión con el número 3, (los actuales sistemas de potencia son trifásicos)** o su creencia en que el universo operaba bajo principios matemáticos armónicos reflejan una mente que buscaba patrones poéticos en la realidad.

Otra historia es su relación con Mark Twain. Tesla usó su oscilador, un dispositivo vibratorio, y Twain experimentó un efecto laxante inesperado, lo que Tesla encontró divertido.

Pero Tesla, **murió solo y alejado de su familia en una habitación de hotel. A su funeral asistieron más de 2 000 personas y varios premios Nobel portaron su féretro.**

En cuanto a los generadores eléctricos, comenzaron en los 1860s con **Werner fon Siemens** y Charles Wheatstone, desarrollando dinamos para generar corriente continua. Los alternadores, esenciales para CA, evolucionaron con la necesidad de transporte eficiente, permitiendo la generación a larga distancia.

Transformadores y Distribución de Energía. William Stanley, nacido en 1858, trabajó para George Westinghouse y desarrolló el primer transformador práctico en 1885, basado en prototipos de **Lusien Golard** y John Dixon Gibbs. En 1886, demostró el primer sistema completo de transporte de CA de alta tensión en Great Barrington, **Masachusetts**. Una anécdota es que se mudó allí debido a problemas respiratorios causados

por la contaminación en Pittsburgh, lo que llevó a su innovador trabajo.

Máquinas Eléctricas Modernas. Los motores y generadores síncronos, que operan a velocidad constante, se desarrollaron en el siglo veinte, usados en grandes sistemas como centrales eléctricas. Los motores de corriente continua sin escobillas (BLDC), inventados en 1962 por T.G. Wilson y P.H. Trickey, emergieron con avances en electrónica de estado sólido, superando las limitaciones de potencia en los 1980s con materiales magnéticos avanzados. Hoy, impulsan vehículos eléctricos, drones y periféricos de computadoras, mostrando su versatilidad.

Tendencias Futuras. El futuro contempla materiales avanzados como superconductores, reduciendo pérdidas, y la integración con la inteligencia artificial para un control más refinado, optimizando eficiencia. La transmisión de energía inalámbrica, inspirada en las ideas de Tesla, está en etapas tempranas, con potencial para cargar dispositivos sin cables. La evolución de las máquinas eléctricas refleja innovación y desafíos, desde Faraday hasta los motores sin escobillas BLDC.

CAPÍTULO 3 ENERGÍAS RENOVABLES Y CENTRALES NUCLEARES

Las energías renovables han crecido significativamente, se espera que en 2025 superen al carbón en generación eléctrica, alcanzando el 46% para 2030, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA). Las energías renovables, como la solar, eólica y hidroeléctrica, son cruciales para reducir emisiones y combatir el cambio climático.

El uso de energías renovables data de miles de años. Los antiguos egipcios usaban velas para obtener energía eólica, y en el siglo VII a.C., se empleaba la energía solar para calentar mediante reflexión. Los molinos de agua, documentados desde el siglo III a.C., molían grano, marcando el inicio de la hidroelectricidad mecánica.

En 1839, Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico, base de los paneles solares. En 1882, se construyó la primera planta hidroeléctrica comercial en Wisconsin, generando 12,5 kW. En 1954, se creó la primera célula solar de silicio, con solo un 6% de eficiencia.

Charles Brash en 1888 construyó una turbina eólica de 18 metros que alimentaba su casa, mostrando su visión innovadora. **Pul la Cur** en Dinamarca desarrolló reguladores para energía eólica, promoviendo la descentralización. El siglo

XIX marcó el inicio de tecnologías modernas. En 1878, William Armstrong implementó un esquema hidroeléctrico en su hogar en Northumberland, alimentando una lámpara, un precursor de las plantas comerciales. Durante la crisis del petróleo de los 70, Jerry Whitfield y Ken Tucker crearon los primeros pellets de madera, una alternativa sostenible.

En 2024, las renovables cubrieron más del 80% del aumento en demanda eléctrica global. Las energías renovables, definidas como fuentes de energía que se renuevan naturalmente (solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa), son esenciales para mitigar el cambio climático y asegurar la sostenibilidad energética. Su relevancia ha crecido, especialmente en el contexto de la crisis climática, **con 2024 siendo el año más cálido registrado**, según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (en inglés, National Oceanic and Atmospheric Administration).

Centrales nucleares

La energía nuclear comenzó con el descubrimiento de la radiactividad a finales del siglo XIX, pero su uso en la generación de electricidad se consolidó en la década de 1940. En diciembre de 1942, Enrico Fermi logró la primera reacción en cadena controlada en el “Chicago Pile-1” en la Universidad

de Chicago, un hito que marcó el inicio de la era nuclear. Este evento fue crucial, ya que sentó las bases para el desarrollo de reactores nucleares para fines pacíficos, especialmente después de los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945, que destacaron el potencial destructivo y aceleraron la investigación para aplicaciones civiles.

En 1951, el Experimental Breeder Reactor-1 (EBR-1) en Idaho, Estados Unidos, generó electricidad por primera vez, aunque solo suficiente **para encender cuatro bombillas**, simbolizando el inicio de la energía nuclear comercial. Este reactor, operado por **Argon National Laboratory**, fue un paso temprano hacia la generación de energía a gran escala.

La primera central nuclear del mundo, AM-1 en Obninsk, Unión Soviética, comenzó a operar en 1954, con una capacidad de 5 MWe. El reactor era de uranio enriquecido con moderador de grafito y refrigerado por agua. Aunque su rendimiento era bajo, solo un 17% de eficiencia térmica.

Sin embargo, sirvió como prototipo para futuros diseños, incluyendo los reactores de Alta Potencia de Tipo Canal RBMK, como el de Chernobyl. En 1956, el Reino Unido inauguró Calder Hall 1, un reactor Magnox de 50 MWe, marcando la primera central nuclear comercial en el país. Ese mismo año, Francia inició su primer reactor con moderador de grafito y

como gas refrigerante gas el dióxido de carbono, con modelos comerciales desde 1959.

En Estados Unidos, el reactor de Shippingport en Pensilvania comenzó a operar en diciembre de 1957, con una capacidad de 60 MWe, siendo el primer reactor comercial de agua presurizada (PWR). Este reactor confirmó la seguridad y rentabilidad de la energía nuclear para usos civiles. Su éxito inspiró el despliegue masivo de reactores comerciales en todo el mundo y aceleró el desarrollo de normas de regulación, seguridad y diseño que siguen vigentes hoy.

La década de 1960 vio la expansión de reactores comerciales, con Yankee Rowe (PWR) y Dresden-1 (BWR), ambos de 250 MWe, iniciando las operaciones en 1960. Canadá introdujo el primer reactor CANDU en 1962, utilizando uranio natural y agua pesada, un diseño distintivo que se convirtió en un estándar nacional. En la Unión Soviética, Beloyarsk y Novovoronezh comenzaron a operar en 1964, con capacidades de 100 MW y 210 MW, respectivamente.

En 2025, la generación nuclear alcanzará un hito, con reactores modulares pequeños o minirreactores nucleares SMRs (**Small Modular Riactors**), como en la Central Nuclear de Monticello (Minnesota), liderando el cambio. La Agencia Internacional de

la Energía atisba un renacimiento nuclear, apoyado por políticas y proyectos globales.

Accidentes y cambios en la percepción pública

Los accidentes nucleares han sido hitos significativos que han moldeado la percepción pública y las políticas a seguir. En octubre de 1957, el incendio del reactor Windscale en el Reino Unido liberó 20,000 curies de yodo radiactivo, afectando el norte de Europa. Este evento fue uno de los primeros accidentes graves, precediendo a otros más impactantes.

En marzo de 1979, el accidente de Three Mile Island en Pensilvania fue el peor incidente nuclear en la historia de EE.UU. hasta ese momento, causado por fallos de equipos y errores humanos. Aunque no hubo víctimas fatales, el incidente llevó a una revisión exhaustiva de las normas de seguridad y a la creación del Institute of Nuclear Power Operations (INPO) en octubre de 1979 para mejorar la seguridad y el rendimiento.

El desastre de Chernobyl en abril de 1986, cerca de Kiev, fue catastrófico, con explosiones que rompieron el contenedor y liberaron radiación, exponiendo a más de 75 millones de personas y causando miles de muertes a largo plazo. Este evento, considerado el peor accidente nuclear, tuvo un impacto global en las políticas nucleares y llevó a una mayor rigidez en las regulaciones internacionales.

En 2011, el accidente de Fukushima Daiichi en Japón, causado por un tsunami, fue otro recordatorio de los riesgos, destacando la necesidad de planificación contra **desastres naturales** y mejoras en la seguridad.

Anécdotas que ilustran el impacto social y tecnológico de las centrales nucleares. En julio de 1955, Arco, Idaho, con una población de 1,000, se convirtió en la primera ciudad del mundo alimentada exclusivamente por energía nuclear, gracias al reactor experimental BORAX-III de Argonne National **Láboratory**. Este evento fue un símbolo del potencial de la energía nuclear para transformar comunidades, aunque solo duró un breve período.

La construcción del reactor en Shippingport en 1957 fue un hito tecnológico, no solo por ser la primera central comercial en EE.UU., sino también por la reconversión de su reactor, probando el uso de torio y uranio-233. Este experimento proporcionó datos cruciales para el desarrollo de futuras tecnologías.

El impacto de Three Mile Island en 1979 no solo afectó la percepción pública, sino que también llevó a cambios significativos en las regulaciones. La creación del Institute of Nuclear Power Operations fue una respuesta directa, y el juicio

de 1996, donde se desestimó una demanda colectiva por falta de evidencia, reflejó los debates legales y sociales posteriores.

La cooperación internacional también ofrece anécdotas interesantes. En 1994, EE.UU. y Rusia firmaron el acuerdo “Megatons to Megawatts”, donde EE.UU. compró uranio enriquecido de Rusia para usarlo como combustible nuclear, con el objetivo de prevenir la proliferación de material para de misiles nucleares. Este acuerdo, que duró hasta 2013, simbolizó la colaboración en la gestión de materiales nucleares.

Chernobyl: Este evento marcó un cambio en la percepción global, llevando a regulaciones más estrictas y a la construcción del sarcófago de contención en 2016.

Fukushima Daiichi: El accidente de 2011, causado por un tsunami, resaltó la necesidad de planificación contra desastres naturales. Japón cerró temporalmente todas sus centrales nucleares, **pero en 2025, varias han sido reactivadas**, reflejando un retorno a la energía nuclear para cumplir con los objetivos de emisiones.

Estado Actual y Perspectivas Futuras

En el año 2025, la energía nuclear está experimentando un renacimiento, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA). La generación global alcanzó un récord en 2025, impulsada por el aumento de la producción en Francia, la

reactivación de plantas en Japón y la construcción de nuevos reactores en China, India, Corea del Sur y Europa. Se espera que se agreguen 29 GW de capacidad nuclear adicional en los próximos años, con alrededor de **70 reactores en construcción, principalmente en Asia.**

Las extensiones de vida útil también son significativas. En 2025, la central de Monticello en Minnesota recibió aprobación para operar hasta 80 años, siendo la novena unidad comercial en EE.UU. con esta extensión. Se esperan decisiones similares para la central Virgil Summer en Carolina del Sur, Perry en Ohio y Diablo Canyon en California, extendiendo operaciones de 40 a 60 años.

Políticas e inversiones están apoyando este crecimiento. Destacan nuevos proyectos como la expansión de Vogtle en Georgia, donde las unidades 3 y 4, utilizando tecnología AP1000, comenzaron a operar en 2023, cada una proporcionando más de 1.000 MWe de electricidad. Además, proyectos como el reactor Natrium de TerraPower en Wyoming, con una capacidad de 345 MWe y enfriamiento de sodio líquido, están en construcción. También está desarrollando controles de seguridad avanzados que registran cualquier desviación, fallo o incumplimiento de los estándares de calidad, seguridad

o diseño de cada componente, proceso o sistema de la instalación nuclear.

Los reactores modulares pequeños (SMRs) son una tendencia clave, con más de 80 diseños en desarrollo. Son reactores nucleares de menor tamaño (generalmente menos de 300 MW) diseñados para ser modulares, escalables, seguros y más económicos que los reactores tradicionales.

El reactor modular pequeño VOYGR de la empresa NuScale, con módulos de 77 MW certificados por la Nuclear Regulatory Commission de EE.UU., lidera el sector, y se espera que se seleccione el primer proyecto “first-mover” a finales de 2025. Estas tecnologías ofrecen ventajas en términos de costes y flexibilidad, especialmente para países en desarrollo.

Una justificación breve es que se **construyen en fábricas, se transportan y ensamblan en el sitio de funcionamiento**, lo que reduce costes y tiempos. Contexto actual: creciente interés en SMR para descarbonización, electrificación remota y aplicaciones industriales.

El USS Nautilus fue el primer submarino nuclear del mundo (1954), impulsado por un reactor compacto que inspiró el concepto de los SMR.

Anécdota: Durante las pruebas, los ingenieros descubrieron que el reactor era tan eficiente que el Nautilus navegó 62.000 millas con una sola carga de combustible, algo impensable para los submarinos diésel de la época. Este hito demostró que los reactores pequeños podían ser potentes y seguros, sentando las bases para los SMR modernos.

Anécdota: En los años 50, el Almirante Hyman Rickover, conocido como el “padre de la marina nuclear”, insistió en pruebas tan rigurosas que los ingenieros bromeaban diciendo que el reactor podía sobrevivir “hasta un ataque alienígena”.

En los años 60, se construyeron reactores pequeños para comunidades remotas. El reactor PM-2A en Camp Century, Groenlandia, una base militar secreta bajo el hielo. Este reactor (1960) fue uno de los primeros reactores modulares transportables, aunque diseñado para uso militar.

Anécdota: El reactor funcionó bien, pero el proyecto “Ciudad bajo el hielo” fue abandonado por problemas logísticos. Los científicos dejaron el reactor enterrado, y décadas después, el cambio climático ha hecho que se tema que los desechos nucleares resurjan con el deshielo.

Con el cambio climático y la necesidad de energía limpia, los SMR resurgieron como alternativa a los grandes reactores, que eran caros y complejos. En 2000, el Departamento de Energía de EE.UU. comenzó a financiar investigaciones en SMR, marcando el inicio de su era moderna. Los SMR se construyen como si fueran piezas de Lego, lo que reduce costes y tiempos de construcción (a diferencia de los reactores tradicionales, que tardan décadas). El diseño de la empresa NuScale (EE.UU.), aprobado por la Comisión Reguladora Nuclear en 2020, fue el primer SMR en obtener **certificación para uso comercial**.

Anécdota: Los ingenieros de NuScale usaron simulaciones por computadora tan avanzadas que podían predecir el comportamiento del reactor en escenarios extremos, como un terremoto, ganándose la confianza de los reguladores.

Características de seguridad pasiva: los SMR modernos no dependen de sistemas activos (bombas, generadores) para enfriarse, sino de leyes físicas como la convección. **Hito:** El reactor de sales fundidas (MSR), un tipo de SMR, promete ser aún más seguro al operar a baja presión. Ejemplo: el proyecto ThorCon.

Anécdota: Durante una demostración en los años 60 del reactor ORNL Molten Salt Reactor, los científicos desconectaron la

energía para mostrar que el reactor se apagaba solo de forma segura, dejando a los espectadores boquiabiertos.

Aplicaciones innovadoras

Los SMR para comunidades remotas, minería, bases militares, e incluso naves espaciales (proyectos de la NASA). Hito: El proyecto BWRX-300 de GE-Hitachi, que en 2023 firmó acuerdos para instalar SMR en Canadá y Polonia.

Anécdota: En Alaska, un proyecto piloto de SMR planea alimentar una comunidad indígena remota, eliminando la dependencia de generadores diésel que debían ser transportados en avión.

El reactor flotante ruso: Rusia lanzó en 2019 el Akademik Lomonosov, una barcaza con dos SMR que suministra energía a regiones remotas del Ártico.

Anécdota: Los críticos lo apodaron “Chernóbil flotante”, pero Rusia lo promocionó como una solución innovadora para el cambio climático. Hasta ahora, ha operado sin incidentes.

Otro caso: En los años 80, Argentina desarrolló el CAREM, un SMR diseñado para exportación. Los retrasos y problemas de

financiación convirtieron el proyecto en una especie de “leyenda urbana” entre los ingenieros.

Aunque los SMR prometen ser más baratos, los costes iniciales de desarrollo son altos. Ejemplo: el proyecto NuScale en Utah fue cancelado en 2023 por aumento de los costes. Preocupaciones ambientales: Gestión de desechos nucleares y riesgos de proliferación.

Anécdota: En una audiencia pública en Canadá, un activista preguntó si un SMR podía usarse para fabricar armas nucleares. La respuesta técnica fue “no es práctico”, pero la pregunta desató un debate público sobre percepción vs. realidad.

El futuro de los SMR es explicar y convencer al público de su potencial y aplicaciones futuras. Ejemplos: Rolls-Royce en Reino Unido, TerraPower (apoyado por Bill Gates) en EE.UU., y el proyecto chino HTR-PM, que entró en operación en 2021. El HTR-PM chino es el primer reactor modular de alta temperatura en operar comercialmente, un gran paso para la tecnología de SMR. Entre las aplicaciones futuras se encuentra **el suministro de energía a los centros de datos**, producir hidrógeno verde, o incluso misiones espaciales a Marte.

Anécdota: En una conferencia de la ONU, un representante de una isla del Pacífico propuso usar SMR para proteger su nación del aumento del nivel del mar, mostrando cómo la tecnología podría ser un salvavidas para comunidades vulnerables.

Los SMR han evolucionado desde experimentos militares hasta una solución prometedora para el cambio climático, con hitos como el USS Nautilus, NuScale y el HTR-PM. Los SMR no son la solución a todos los problemas energéticos, pero son un paso audaz hacia un futuro más limpio y sostenible.

CAPÍTULO 4 EL COCHE ELÉCTRICO

Hoy, los coches eléctricos están en todas partes, pero ¿saben que **su historia comenzó hace casi 200 años?**

Los orígenes del coche eléctrico (1830-1900)

El coche eléctrico no es una novedad reciente. En los años 1830s, Robert Anderson, un inventor escocés, crea un rudimentario carruaje eléctrico en 1832, alimentado por baterías no recargables.

Anécdota: Las baterías eran tan pesadas que el vehículo **apenas podía moverse**, pero fue un hito para la época. En el

contexto de aquella época, la electricidad era una novedad, no había redes eléctricas ni infraestructura.

En los años 1880s. **Gustav Truuvé** y otros inventores desarrollan vehículos eléctricos más prácticos. En 1881, Trouvé presenta un triciclo eléctrico en París.

Hito: En 1899, el vehículo eléctrico “La Jamais Contente” **La Yamé contant *El nunca satisfecho*** de Camille Jenatzy alcanza los 105,88 km/h, el primer automóvil en superar los 100 km/h.

Anécdota: Jenatzy, apodado “El Diablo Rojo”, conducía con un puro en la boca, lo que le dio un aire de celebridad.

A finales del siglo XIX, los coches eléctricos eran preferidos en ciudades como Nueva York y Londres por ser silenciosos y no emitir humos, a diferencia de los vehículos de combustión o de vapor. **En el año 1900, el 38% de los automóviles en EE.UU. eran eléctricos, frente al 22% de gasolina.**

Anécdota: Clara Ford, esposa de Henry Ford, conducía un coche eléctrico Detroit Electric, porque lo consideraba más elegante y limpio.

El declive del coche eléctrico (1900-1980)

Los coches eléctricos desaparecieron durante décadas debido a la competencia con la gasolina. En el año 1908 aparece el Ford Model T que revoluciona la industria con la producción en masa, haciendo los coches de gasolina más baratos.

Las limitaciones de los eléctricos fueron **las baterías pesadas**, poca autonomía (50-80 km) y falta de infraestructura de carga.

Desaparición gradual en los años 1920s-1930s. Las estaciones de carga urbanas desaparecen, y la gasolina se impone con la expansión de carreteras y estaciones de servicio. Para el año 1935, los coches eléctricos prácticamente desaparecen del mercado.

En los años 1960s-1970s, la crisis del petróleo despierta interés en los eléctricos. Ejemplo: General Motors desarrolla el **Electrovear**, pero no pasa de prototipo.

Anécdota: En 1973, un inventor llamado **Victor Wuk** convierte un Buick Skylark en eléctrico, pero las empresas automovilísticas lo ignoran. **Wuk** es considerado el “padrino del coche eléctrico moderno”.

El renacimiento del coche eléctrico (1990-2010). El coche eléctrico resurgió gracias a la tecnología y la conciencia ambiental. En 1996 General Motors lanza el EV1, el primer

coche eléctrico moderno producido en masa. **Comercializado únicamente bajo contratos de leasing en California y Arizona.**

Hito: Usaba baterías de plomo-ácido (luego de níquel-metal hidruro) y tenía una autonomía de 120-200 km.

Anécdota: Los usuarios del EV1 lo adoraban, pero General Motors retiró todos los vehículos en 2003, destruyéndolos, lo que generó protestas y teorías conspirativas, documentadas en **Who Killed the Electric Car?.**

El auge de los híbridos. En el año 1997, Toyota lanza el Prius, el primer híbrido de éxito comercial. Aunque no es un eléctrico puro, el Prius allanó el camino para la aceptación de tecnologías alternativas.

Anécdota: Celebrities como Leonardo DiCaprio popularizaron el Prius, convirtiéndolo en un símbolo de conciencia ambiental.

El nacimiento de Tesla. Fundación de Tesla Motors por Martin Eberhard y Marc Tarpenning en el año 2003.

Hito: 2008, Tesla Roadster, el primer coche eléctrico de alto rendimiento (autonomía de 350 km, 0-100 km/h en 3,7 segundos).

Anécdota: Elon Musk, quien se unió a Tesla en 2004, arriesgó su fortuna personal para salvar la empresa durante la crisis financiera de 2008. El Roadster demostró que los coches eléctricos podían ser rápidos, atractivos y deseables.

La revolución del coche eléctrico (2010-2025). Se produce el avance de los coches eléctricos y el crecimiento del mercado. En los años 2010s se produce el lanzamiento del Nissan Leaf (2010) y del Tesla Model S (2012).

Hito: En 2020, los coches eléctricos representan el 4% de las ventas globales; en 2024, superan el 20% en mercados como Europa y China.

Anécdota: En Noruega, el 80% de los coches nuevos en 2023 eran eléctricos, gracias a incentivos fiscales.

Avances tecnológicos en las baterías de iones de litio, mayor densidad energética, menor coste (de 890 €/kWh en 2010 a ~115 €/kWh en 2024).

Hito: En 2023, BYD lanza el Seagull, un coche eléctrico asequible (~8.809 €).

BYD Auto Co., Ltd. es la filial automotriz de BYD Company, una multinacional china con sede en Shenzhen, fundada en 1995

por Wang Chuanfu. **Inicialmente un fabricante de baterías**, BYD entró en la industria automotriz en 2003 al adquirir **Xi'an Qinchuan Ótomobil**. Desde entonces, se ha convertido en el mayor fabricante mundial de vehículos eléctricos enchufables (Battery Electric Vehicle y Plug-in Hybrid Electric Vehicle), superando a Tesla en ventas globales de vehículos totalmente eléctricos a finales de 2023.

Anécdota: Empresas como Contemporary Amperex Technology Co., Limited (CATL) experimentan con baterías de estado sólido, que podrían ofrecer 1,000 km de autonomía para 2030.

CATL es una empresa china líder en tecnología de baterías, fundada en 2011 por Robin Zeng, con sede en Ningde, provincia de Fujian. Se especializa en la fabricación de baterías de litio-ion para vehículos eléctricos (EVs) y sistemas de almacenamiento de energía, además de sistemas de gestión de baterías (BMS). CATL es el mayor fabricante mundial de baterías para coches eléctricos y almacenamiento de energía, con una cuota de mercado global del 37% y 40% respectivamente en 2023.

Crecimiento de redes de carga: **Hito:** En 2025, China tiene más de 3 millones de puntos de carga públicos.

Anécdota: En 2021, un conductor completó un viaje de 27,000 km en un Tesla Model 3, cruzando 22 países, demostrando la viabilidad de los viajes largos.

Impacto ambiental de la extracción de litio y cobalto.

Anécdota: En 2023, un informe sobre minas de cobalto en el Congo generó debates éticos en la industria.

Baterías de estado sólido, carga inalámbrica, integración con energías renovables.

Hito: Empresas como Aptera desarrollan coches solares con hasta 1,600 km de autonomía.

Anécdota: En 2024, un prototipo de Mercedes-Benz con paneles solares recorrió 1,000 km sin recargar.

Visión a largo plazo. Predicciones: **Para 2035, el 50% de los vehículos nuevos podrían ser eléctricos.**

Impacto: Reducción de emisiones, pero necesidad de políticas para reciclar baterías y mejorar la red eléctrica.

Desde los carruajes eléctricos del siglo XIX hasta los Tesla y BYD de hoy, el coche eléctrico ha superado obstáculos

técnicos, culturales y económicos. Las anécdotas (como el Diablo Rojo o el viaje transcontinental en Tesla) muestran su impacto humano. Los coches eléctricos no solo son una solución tecnológica, sino un cambio cultural hacia la sostenibilidad.

Y ya termino. Los sistemas eléctricos de potencia han recorrido un largo camino, desde los experimentos de Faraday hasta las redes inteligentes de hoy. Cada hito, desde la Guerra de las Corrientes hasta la integración de renovables, ha sido acompañado por desafíos técnicos y anécdotas que reflejan la creatividad humana. Estos sistemas no solo son un logro de la ingeniería, sino también un testimonio de nuestra capacidad para innovar y adaptarnos.

En el futuro, nos enfrentaremos a nuevos retos, como la electrificación total de sectores como el transporte y la integración de inteligencia artificial en las redes. **Pero si algo nos enseña la historia, es que la humanidad siempre encuentra formas de encender la luz, incluso en los momentos más oscuros.**

Muchas gracias por su atención