

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

“CONTAMINACIÓN POR BATERÍAS Y LA PANACEA DE LAS
FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA”

Que para obtener el Título de
INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta
Susana Violeta Martínez Hernández

Asesor
Dr. Carlos Pérez Rojas

Morelia, Michoacán

Diciembre de 2007

Resumen

Hoy en día la humanidad está viviendo las repercusiones de su propia inconsciencia y desconsideraciones hacia el planeta, como son la contaminación del suelo, aire, ríos, océanos, etc. Hasta hace algunos años el consumo de combustibles fósiles era de manera exagerada y poco controlada hasta caer en cuenta que desgraciadamente esto ha estado cobrando una factura demasiado cara, como es la escasez de tales combustibles y los efectos adversos para el ambiente y la salud humana.

Por lo anterior es que en la actualidad están tan de moda las llamadas energías renovables y limpias, entre las que podemos mencionar a la tecnología fotovoltaica y eólica para la generación de energía eléctrica, en las cuales se basará el estudio del presente trabajo.

Uno de los elementos principales de los sistemas fotovoltaicos y eólicos son las baterías, siendo éstas uno de los problemas más graves en cuanto a daño ambiental y a la salud se refiere. Desgraciadamente aún existe poca información hacia la ciudadanía acerca de los efectos adversos y riesgos que representa el mal manejo de ellas.

En el mercado existen una gama amplia de tipos de baterías, de acuerdo a su utilización y características, pero aún así, una de las más populares en la industria y en la generación de energía eléctrica (sistemas fotovoltaicos y eólicos) es también una de las más peligrosas, es decir, la batería de ácido de Plomo. Los efectos negativos del plomo para la salud humana y el ecosistema no son nuevos, ya que esto ha sido tema de estudio durante muchos años, siendo incomprensible que aún así sea un elemento muy popular para muchos procesos en la vida humana.

Contenido

Resumen.....	iii
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tablas.....	ix
Lista de Símbolos y Abreviaciones.....	xi
Capítulo1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivo.....	5
1.3 Justificación.....	6
1.4 Metodología.....	6
1.5 Contenido de la Tesis.....	6
Capítulo 2. Impacto ambiental debido a la generación de energía eléctrica con el sistema energético actual.....	8
2.1 Contaminación por petróleo.....	9
2.2 El peligro nuclear.....	10

2.3	Contaminación por emisiones de gases debido a la generación de electricidad.	12
2.4	Contaminación por metales pesados.....	18
2.5	Impacto ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas.....	19
2.6	Los automóviles y la contaminación.....	19

Capítulo 3. Sistemas Eoloeléctricos y Fotovoltaicos..... 24

3.1	Sistema solar fotovoltaico.....	24
3.2	Generación de energía eléctrica con un SSF.....	25
3.3	Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	28
3.4	Sistema eólico.....	29
3.5	Generación de energía eléctrica con sistemas eólicos.....	30

Capítulo 4. Almacenamiento de Energía (Baterías)..... 33

4.1	Tipos de baterías.....	34
4.1.1	Batería de níquel cadmio (NiCd).....	34
4.1.2	Batería de níquel metal hídrico (NiMH).....	35
4.1.3	Batería de ácido de plomo.....	37
4.1.4	Batería de litio ion (Li-ion).....	38
4.1.5	Batería de polímetro de litio (Li-polímetro).....	40
4.1.6	Batería alcalina recargable.....	42
4.2	Impacto ambiental de las baterías.....	44
4.2.1	Impacto del cadmio.....	48

4.2.2.	Impacto del níquel.....	50
4.2.3	Impacto del litio.....	51
4.2.4	Impacto del plomo.....	52
Capítulo 5. Fuentes Alternas de Energía y la contaminación ambiental.....		56
5.1	Afecciones a la salud humana debido a la exposición al plomo.....	59
5.2	Contaminación de los suelos debido a altas concentraciones de Pb.....	65
5.3	Fabricación de acumuladores eléctricos en Morelia.....	68
Capítulo 6. Conclusiones.....		78
6.1	Conclusiones.....	78
6.2	Trabajos futuros.....	80
Referencias.....		81
Anexo A.....		86

Lista de Figuras

2.1	Consumo Mundial de Energía Primaria hasta el año 1996.....	9
2.2	Capacidad efectiva de generación en México en el año 2006.....	12
2.3	Consumo de combustibles en el año 2006.....	13
2.4	Distribución de la contaminación de metales en el suelo.....	19
3.1	Tendencia del costo de un módulo fotovoltaico.....	25
3.2	Celda Solar.....	25
3.3	Módulo fotovoltaico.....	26
3.4	Sistema Fotovoltaico.....	26
3.5	Curva característica I-V de un módulo fotovoltaico.....	27
3.6	Turbina de viento.....	31
5.1	Riesgos a la salud debido a los niveles de Plomo en la sangre.....	63
5.2	Cajas de las baterías recolectadas.....	69
5.3	Horno para la fundición de Pb.....	70
5.4	Moldes para la elaboración de las barras de Pb.....	70
5.5	Moldes y el producto terminado de conectores y postes.....	71
5.6	Desechos de Pb fundido.....	71
5.7	Soldado de los conectores y postes de la batería.....	72
5.8	Grupos de la batería.....	72

5.9	Sellado de la batería.....	72
5.10	Vaciado de ácido sulfúrico.....	73
5.11	Ácido sulfúrico.....	73
5.12	Carga de baterías.....	74
5.13	Almacenamiento de baterías recolectadas para su reciclaje.....	74
5.14	Fábrica dedicada a la fabricación de acumuladores eléctricos.....	75
5.15	Trituradora de plástico.....	75
5.16	Maquinaria para la fabricación de placas positivas y negativas.....	76
5.17	Fundición de Pb para el soldado de los conectores y postes de las placas.....	76
5.18	Maquinaria para el sellado de la batería.....	77

Lista de Tablas

2.1	Capacidad de generación instalada a base de combustibles fósiles y emisiones calculadas de CO ₂ , Hg, NO _x , y SO ₂ , por estado (2001).....	14
2.2	Capacidad de generación instalada a base de combustibles fósiles y emisiones calculadas de CO ₂ , Hg, NO _x , y SO ₂ , por estado (2002).....	15
2.3	Principales Centrales en Operación de CFE hasta el año 2002.....	16
3.1	Capacidad instalada en los países miembro de la IEA.....	30
3.2	Catalogo de Proyectos Eólicos de CFE.....	32
4.1	Características de baterías recargables normalmente usadas.....	44
4.2	Composición química de los diferentes tipos de baterías.....	45
4.3	Estimación del consumo y contaminación de las baterías usadas en teléfonos celulares (Toneladas).....	46
4.4	Consumo de baterías de NiCd en 1997 (Toneladas).....	47
4.5	Estimación del consumo de pilas y baterías por periodo (Piezas).....	47
4.6	Estimación de contaminantes generados en las últimas 4 décadas (Ton.).....	48
4.7	Normatividad en México relativa a algunos compuestos tóxicos de baterías....	54
5.1	Composición en peso de una batería nueva o usada de ácido de plomo.....	58
5.2	Distribución de los síntomas referidos en la población estudiada.....	61

5.3	Relación de los valores de plomo en sangre, su permanencia y los efectos tóxicos sistémicos.....	62
-----	--	----

Lista de Símbolos y Abreviaciones

μ	micro
g	gramos
dl	decilitro
L	litro
T	tera
W	watts
h	hora
G	giga
M	mega
K	kilo
t	tonelada
V	voltaje
I	corriente eléctrica
A	ampere
v	volts
P	potencia
CD	Corriente directa
CA	Corriente alterna
m	mili
DS	desviación estándar

Capítulo 1

Introducción

Debido a la escasez del petróleo o combustibles fósiles en el planeta, así como a la contaminación que las Fuentes de Energía Eléctrica Convencionales (FEEC) generan, (Termoeléctrica, Núcleo eléctrica, etc.), el mundo giró su atención a buscar nuevas alternativas de generación de energía eléctrica o lo que se conoce como Fuentes Alternas de Energía (FAE), entre la que podemos mencionar la Solar y Eólica, como las más desarrolladas y populares actualmente. Pero, ¿Qué tan cierto es que las fuentes alternas de energía son las menos contaminantes, y una opción viable para el futuro, tanto por su costo como sus ventajas ambientales?

Es cierto que las FAE, reducen las emisiones de gases contaminantes para la atmósfera, pero, aun así las FAE requieren el uso de baterías que también representan un grave problema ecológico. Por supuesto en este trabajo se enfocará a las FAE que utilizan baterías para almacenar energía eléctrica.

Aunque actualmente la tecnología se inclina hacia los medios inalámbricos y los vehículos eléctricos o híbridos. El uso de baterías no es tampoco nuevo para las FAE, ya que son necesarias en los sistemas solares y eólicos, debido a su condición intermitente.

A pesar de que una batería pueda ser recargable, tiene un tiempo de vida, el cual es finito y cuando llega a su fin, éstas se convierten en residuos. Donde las sustancias

químicas que la constituyen pueden presentar un gran peligro tóxico, para el ambiente y para la salud.

1.1 Antecedentes

La fuente energética del mundo entero es el consumo de combustibles fósiles. Siendo la generación de energía eléctrica a base del petróleo y sus derivados. En México la generación de energía eléctrica es en su mayoría por medio de plantas termoeléctricas que consumen como combustible combustóleo, principalmente. Debido a los problemas medioambientales que este tipo de plantas provocan, además del agotamiento de los combustibles fósiles, es que el mundo ha girado su atención hacia las llamadas “energías limpias” siendo de las más populares la tecnología solar fotovoltaica y la tecnología eólica, además en el ámbito automotriz, los vehículos eléctricos e híbridos.

Aunque el uso de las FAE es mínimo en México en comparación con otros países, dentro de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) existen dos departamentos que supervisan el aprovechamiento de tecnologías de energía renovable para llenar la demanda de electricidad. Estas son: la Unidad de Nuevas Fuentes de Energía y la Unidad de Electrificación Rural [Programa de Energía Renovable en México, 2004]. La Unidad de Nuevas Fuentes de Energía se dedica principalmente a trabajar con aplicaciones grandes conectadas a la red. Por otro lado, la Unidad de Electrificación Rural aprovecha las energías renovables para llenar la demanda de las poblaciones más remotas, usando aplicaciones no conectadas a la red pública. Siendo éstos últimos los sistemas que utilizan baterías.

La red eléctrica nacional en México es muy vasta, sin embargo hasta el 2004 existían aproximadamente 87,000 comunidades sin acceso a la red, con 4 millones de personas [Programa de Energía Renovable en México 2004]; donde el alto costo no permite extender la red eléctrica nacional.

Por todo lo antepuesto fue que CFE en colaboración con los gobiernos estatales, empezó una iniciativa de electrificación rural usando sistemas fotovoltaicos solares. Entre 1991 y 1996 fueron electrificadas más de 40,000 viviendas por medio del Programa

Nacional de Desarrollo Social. Aunque hoy, dicho programa ya no existe, la electrificación rural por medio de celdas fotovoltaicas continúa, habiendo una creciente utilización de la energía fotovoltaica para electrificación doméstica.

Por parte de los sistemas eólicos también hay grandes avances. En México se cuenta con el Istmo de Tehuantepec siendo una de las regiones más ventosas de México y quizás del mundo entero con una gran capacidad para producción de energía eólica. Se encuentra en la parte sur del estado de Oaxaca, entre el Océano Pacífico y el Golfo de México, donde es más estrecho el territorio mexicano. En este lugar la CFE decidió construir una planta piloto de generación eoloelectrica para adquirir experiencia con la tecnología, llamada La Venta I, fue puesta en servicio en 1994 y desde entonces ha seguido supliendo energía eléctrica por medio de la red de servicio público.

El uso de eoloelectricas ha ido creciendo en los últimos años, en el año 2006, la Secretaria de Energía [SENER 2006] reportó una generación de 45GWh por medio de plantas eoloelectricas, con una capacidad efectiva de generación de 2MW conectadas a la red eléctrica nacional.

Se puede decir que el uso de los Sistemas de Energía Solar y Eólica para la generación de energía eléctrica, es una realidad en México y en el planeta; y por ende el uso de las baterías que éstas requieren, por lo que es importante considerar entonces el impacto ecológico y a la salud, que las FAE pueden significar en comparación con las FEEC.

Uno de los inconvenientes que presentan la baterías es su corto tiempo de vida, siendo en los mejores de los casos de hasta cinco años, por lo que es uno de los dispositivos que más se está reemplazando. Esto no sería tan grave de no ser porque muchos de los desechos de las baterías no son debidamente manejados, por lo que representan un problema ambiental gracias a que en su mayoría son desechos tóxicos que no solo dañan a la flora y fauna, sino que también afectan a la salud humana. Si este problema es comparado con los problemas ambientales provocados por las plantas de generación de

energía eléctrica convencionales, se puede pensar que si no se pone la suficiente atención llegarán a ser iguales o incluso superarlos.

Hoy en día la contaminación por desechos tóxicos y en específico la contaminación por el uso de pilas y baterías va en aumento, debido al crecimiento de la población y al incremento en aplicaciones de éstas. Se estima que en los últimos siete años, en México, se ha generado un promedio anual de 35,500 toneladas de pilas y baterías desechadas [Sistema Nacional e-México 2007]; es decir, 10 pilas/habitante/año o aproximadamente 400 gramos/habitante/año de los que el 30% corresponden a materiales tóxicos. Aunque aún no se conoce ningún estudio que evalúe el impacto al ambiente ocasionado por la utilización y manejo inadecuado de pilas y baterías en México, se sabe que varios componentes usados en su fabricación son tóxicos y por tanto la contaminación ambiental y los riesgos de afectar la salud y los ecosistemas dependen de la forma, lugar y volumen en que se han dispuesto o tratado este tipo de residuos.

Hasta ahora las baterías que se encuentran en el mercado son las siguientes:

- Batería de NiCd.
- Batería de NiMH.
- Batería de Ácido de Plomo.
- Batería de Litio ion.
- Batería de Litio ion polímero.
- Batería alcalina recargable.

De lo cual se puede mencionar que la menos contaminante es la batería de Litio ion o de Litio ion polímero, y que por el contrario la más dañina para la salud humana y el ecosistema son las baterías de ácido de Plomo, gracias a los efectos adversos que este material presenta.

Aún así siendo las baterías de ácido de Plomo las baterías más contaminantes son las más populares y las que se utilizan con mayor frecuencia en los sistemas de generación de energía eléctrica así como en los automóviles. Su popularidad se debe a su bajo costo y

buenas características técnicas, ya que cuentan con una eficiencia alta además de una capacidad de almacenamiento de energía considerable.

Las dificultades que el plomo presenta no son algo nuevo, pues esto se ha estudiado desde hace años, demostrando que la exposición a este metal aumenta las posibilidades de contraer cáncer, afecciones a las facultades mentales y al sistema nervioso, siendo la población infantil y la mujer embarazada, quienes presentan el mayor riesgo, pudiendo incidir en su capacidad intelectual en desarrollo (el desarrollo completo se logra entre los 2 y 3 años de vida).

En el 2003, en Uruguay, se realizó un estudio descriptivo en una fábrica de acumuladores eléctricos (baterías) [Laborde *et al.* 2006] de donde, por los procesos que allí se realizan, los trabajadores están expuestos al plomo. El valor obtenido de plomo en la sangre durante la actividad laboral mostró que todos los valores superaban el nivel máximo admitido para trabajadores expuestos, 30 microgramos de plomo por cada decilitro ($\mu\text{g}/\text{dl}$), según la Ordenanza 337 del Ministerio de Salud Pública de ese país. Al permitir que los trabajadores dejaran de laborar durante un año, se observó que hubo un descenso en los niveles de plomo en la sangre. De los trabajadores (40 casos), el 85% presentaron síntomas vinculados a la exposición.

En este trabajo se presenta un estudio del impacto ambiental de las FEEC en comparación con el de las principales baterías usadas en las FAE y autos eléctricos, así como un estudio de las baterías existentes en el mercado y sus características.

1.2 Objetivo

Los objetivos de este trabajo son los mencionados a continuación.

- Hacer un estudio de la contaminación ambiental generada por las baterías, utilizadas en las FAE así como, de la factibilidad de su uso en las fuentes alternas de energía con la tecnología existente en el mercado.

- Realizar investigación acerca de la manera de fabricar recolectar y reciclar las baterías en esta población.
- Hacer un estudio de los tipos de baterías existentes en el mercado y se mostrarán sus ventajas, desventajas y características.
- Analizar las ventajas y desventajas para la salud humana y el ecosistema de las baterías más populares en la industria de generación de energía eléctrica.

1.3 Justificación

Las FAE son una de las posibles alternativas de generación de electricidad para un futuro no muy lejano, por lo que es conveniente estudiar lo más ampliamente posible todas sus características, es decir, sus ventajas pero también sus desventajas.

En la actualidad el uso de acumuladores eléctricos y baterías es muy común, un ejemplo de ello, son las utilizadas en la telefonía celular, calculadoras, y todo tipo de aparatos electrónicos. Una de las aplicaciones más recientes es en la industria automotriz, con los nuevos autos eléctricos e híbridos, por lo que, el uso de baterías está a la alza en nuestro planeta, trayendo consigo, miles de residuos tóxicos que de no ser manejados de manera adecuada representarán un grave problema ambiental y de salud.

1.4 Metodología

La metodología a seguir, es una extensa investigación acerca de los avances tecnológicos en materia de las FAE y baterías, y hacer una comparación con las FEEC, para observar la factibilidad de las FAE con la tecnología actual en materia de baterías.

1.5 Contenido de la Tesis

En el Capítulo 1 se da una breve introducción a este trabajo, se muestra la situación actual de la generación de Energía Eléctrica en el país y el presente interés en los programas de energía renovable para la generación de energía eléctrica.

En el Capítulo 2 se presentan los efectos ambientales de la generación de electricidad a base del uso de combustibles fósiles.

En el Capítulo 3 se da una breve descripción de la tecnología solar fotovoltaica y eólica para la generación de energía eléctrica, así como su utilización en México.

En el Capítulo 4 se describe la tecnología de los acumuladores eléctricos, es decir, sus conceptos básicos, tipos y características, así como las repercusiones al ambiente y a la salud que presentan cada una.

En el Capítulo 5 se muestran algunos casos de envenenamiento y contaminación a causa del Pb, el cual es elemento más popular en las baterías utilizadas en las centrales de generación de energía eléctrica, además de mostrar la calidad con la que se reciclan y se fabrican baterías.

En el Capítulo 6 se presentan conclusiones generales y trabajos futuros.

Capítulo 2

Impacto ambiental debido a la generación de energía eléctrica con el sistema energético actual.

Como primera instancia es importante definir el concepto de energía. Energía es la capacidad de generar trabajo y calor. El trabajo implica movimiento (cambio de posición, rotura, deformación, etc.). El calor es una forma de manifestación de la energía que es posible medir cuando pasa de unos cuerpos a otros aumentando o disminuyendo su temperatura, o provocando un cambio de estado [Ortega 2000].

Se llama energía primaria a aquella que se obtiene de las fuentes de origen sin haber sufrido algún proceso de transformación intermedio. Las fuentes de energía primaria, carbón, gas, petróleo, nuclear y todas las demás renovables o no, son usadas por el hombre para la obtención de trabajo y calor. A partir de estas mismas fuentes se puede obtener electricidad.

En el mundo la mayor parte de la energía primaria consumida para generar energía eléctrica proviene de combustible fósiles, como se muestra en la Figura 2.1, [Ortega 2000].

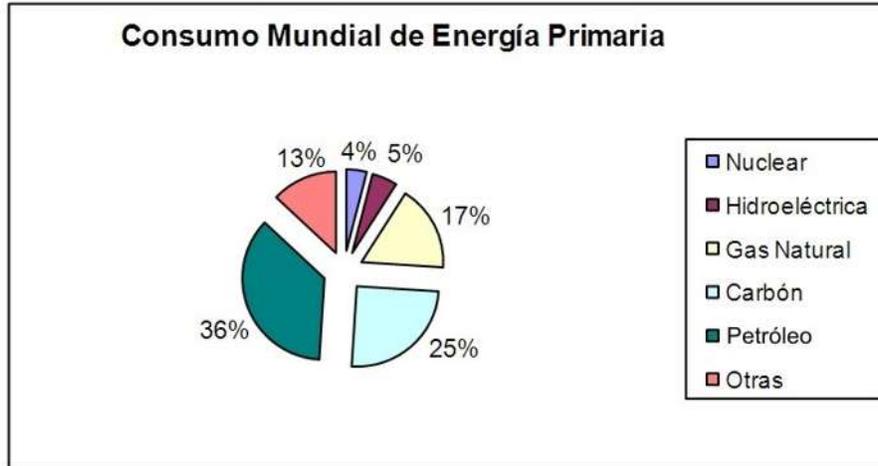


Figura 2.1 Consumo Mundial de Energía Primaria hasta el año 1996

De acuerdo a la Figura 2.1, se puede concluir que el sistema energético mundial se basa en el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural).

El consumo de energía primaria en México está basado también en el uso de combustibles fósiles. Aun cuando en el planeta y en México existen yacimientos de petróleo, carbón o gas natural no descubiertos, una cosa es segura, y es que los combustibles fósiles son finitos y el panorama de la duración de éstos no es muy alentador, aunado a ello, se tiene la contaminación ambiental y el cambio climático que su consumo generan.

Entre los problemas ambientales a los que se está enfrentando hoy, son los mencionados a continuación.

2.1 Contaminación por petróleo

Un problema ecológico de gran magnitud, es el debido a la contaminación por la industria petrolera. La contaminación por petróleo se produce por su liberación accidental o intencionada en el ambiente, provocando efectos adversos sobre el hombre o sobre el medio, directa o indirectamente. Afecta en forma directa al suelo, agua, aire, la fauna y flora. Algunos de los impactos ambientales son:

Efectos sobre el suelo: Los derrames de petróleo y los desechos producen una alteración de la composición original del suelo, provocando que sean infértiles e inutilizables durante años.

Efectos sobre el agua: los derrames de petróleo en el agua producen una disminución del contenido de oxígeno, aporte de sólidos y de sustancias orgánicas e inorgánicas.

Efectos sobre el aire: por lo general, conjuntamente con el petróleo producido se encuentra gas natural. El gas natural está formado por hidrocarburos livianos y puede contener dióxido de carbono, monóxido de carbono y ácido sulfhídrico. Siendo el dióxido de carbono CO₂ uno de los gases que provocan el efecto invernadero.

Efectos sobre la flora y la fauna: la contaminación por petróleo se da por el contacto directo principalmente en arbustos y matorrales. A su vez, estos matorrales proveen refugio y alimento a la fauna adaptada a ese ambiente. Dentro de la fauna, las aves son las más afectadas, por contacto directo con los cuerpos de agua o vegetación contaminada, o por envenenamiento por ingestión. El efecto sobre las aves puede ser letal. Por otro lado, si la zona de explotación es costera o mar adentro el derrame de hidrocarburos produce daños irreversibles sobre la fauna marina.

2.2 El peligro nuclear

En la historia del uso de la energía nuclear con el fin de generar energía eléctrica, ha habido muchos tropiezos, debido a varios accidentes, algunos de ellos citados a continuación.

Uno de las primeras alertas sobre los riesgos del uso de la energía nuclear se presentó en Windscale, Reino Unido, en 1957. Una falla en un reactor de la planta provocó un incendio en el que fueron emitidos al medio ambiente gases radioactivos. Como resultado, durante 44 días se prohibió la distribución de leche en un radio de 4.83 kilómetros.

En Estados Unidos, el 28 de marzo de 1979, uno de los reactores de la central nuclear ubicada en la Isla Tres Millas, en el río Susquehanna, Pensilvania, sufrió una fusión parcial, a causa de una falla mecánica y un error humano. El accidente provocó que gas

radioactivo se liberara a la atmósfera. Estudios realizados en 1982 por diversos expertos en temas de salud encontraron que las personas que vivían cerca del reactor nuclear de la Isla Tres Millas exhibieron altos niveles de estrés después del accidente nuclear. También mostraron evidencia de una elevación en los niveles de presión sanguínea y un mayor número de infecciones de las vías respiratorias. Los sistemas inmunológicos de estas personas no funcionaban tan bien como deberían.

El mayor accidente de la historia nuclear sucedió la noche del 26 de abril de 1986. El reactor número 4 de la central nuclear de Chernobyl protagonizó una catástrofe cuyas consecuencias aún afectan a la población y al medio ambiente. El accidente en Chernobyl fue producido por fallas en los sistemas de control en el reactor y la ineficaz actuación de los operadores ante la emergencia. Las dos explosiones que se presentaron liberaron al ambiente cerca de ocho toneladas de combustible radioactivo. Las brigadas especializadas y los bomberos trataron de sofocar los incendios y neutralizar las fugas radioactivas. Por lo menos, 30 personas fallecieron en el momento por exposición radial. En un radio de 30 kilómetros se evacuó a cerca de 40 mil personas, poco después del accidente.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señaló que en Chernobyl se emitió 200 veces más radiactividad que la liberada por la suma de las bombas nucleares lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki en 1945, aunque el gobierno de Ucrania afirma que fue 500 veces más. Actualmente se sabe que el ADN de las células germinales que transmiten la información genética fue dañado por la radioactividad, por lo que las secuelas de Chernobyl perdurarán durante varias generaciones, y que se podrían manifestarán en las generaciones venideras en los próximos mil años.

Después de estos terribles accidentes organizaciones mundiales establecieron leyes para adoptar normas mucho más estrictas para el diseño y la construcción de centrales nucleares.

En México a principios de la década de los 50's, diversos científicos comenzaron a promover el uso de la energía nuclear para diversos fines. Uno de los principales promotores fue el doctor Nabor Carrillo Flores.

El Doctor Carrillo Flores, así como otros científicos, impulsó la creación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), cuya fundación se dio en 1956. En la década de los 60, el proyecto nuclear más importante de México fue la construcción del Centro Nuclear “Nabor Carrillo Flores”, ubicado en Salazar, Estado de México y en 1972 fue cuando el gobierno federal consideró la energía nuclear como una alternativa para la generación de electricidad. En ese año, se comenzó la construcción de la Central Nuclear Laguna Verde, nucleoelectrica, que en 1990 se inauguró en la ciudad de Alto Lucero, a unos 80 kilómetros al noroeste de la capital de Veracruz.

2.3 Contaminación por emisiones de gases debido a la generación de electricidad

En 2006, se generó 223.564 TWh de electricidad en diferentes plantas que en total suman una capacidad instalada (capacidad efectiva de generación) de 48.89 GW [SENER 2006]. A semejanza de muchos países en desarrollo y desarrollados, la mayoría de la capacidad instalada de generación en México se basa en combustibles fósiles, como los usados en la industria termoeléctrica, Figura 2.2. En México predomina el uso de combustóleo como combustible en la generación total, Figura 2.3. Esta diferencia incide de manera importante en la definición de las características de las emisiones del sector de generación de electricidad mexicano.

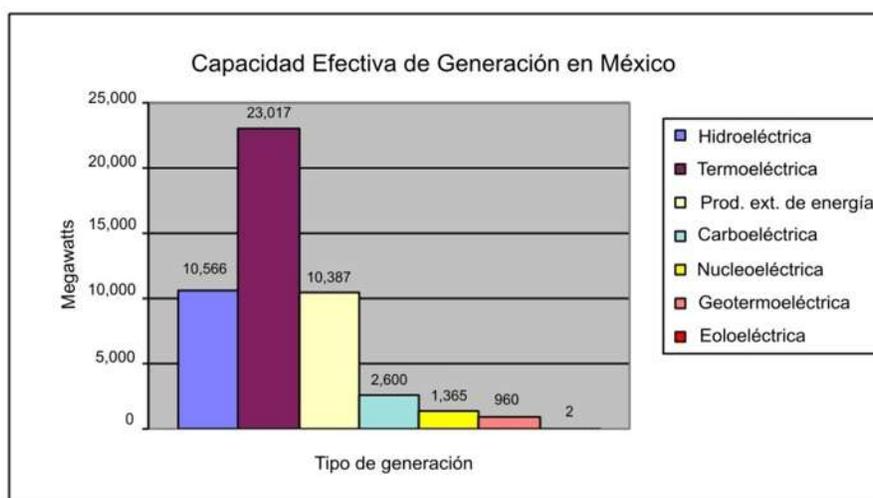


Figura 2.2 Capacidad efectiva de generación en México en el año 2006

Como se puede observar en la Figura 2.2 en México el principal medio de generación de energía eléctrica es con las plantas Termoeléctricas con una capacidad instalada de 23GW, y aunque las FAE ya están en operación su aportación al sistema eléctrico nacional es muy pequeña con tan solo 2MW hasta el 2006 [SENER 2006].

La Figura 2.3 muestra que el combustible más utilizado en nuestro país es el combustóleo con casi 76 millones de barriles, y el menos utilizado es el diesel con 2 millones de barriles [SENER 2006].

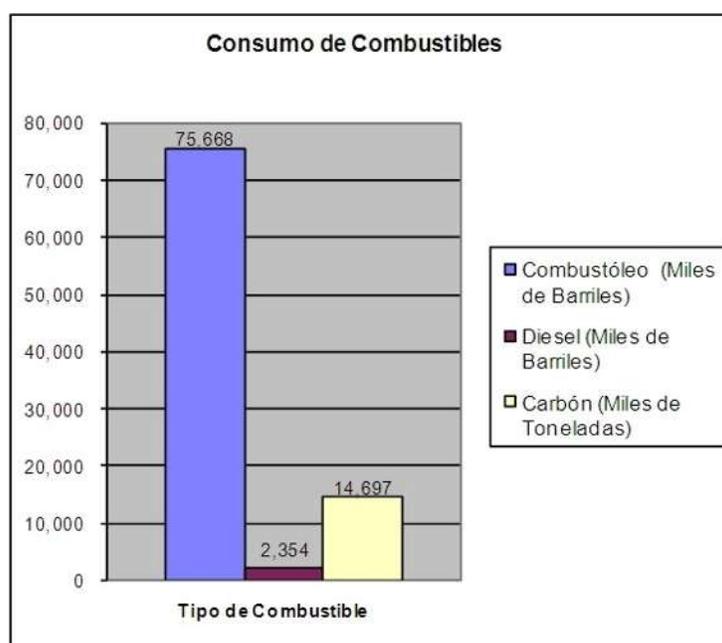


Figura 2.3 Consumo de combustibles en el año 2006

El uso descontrolado de los combustibles fósiles, y la conciencia ambiental cada vez mayor, ha sido lo que ha captado la atención de la sociedad a nivel mundial, así como de las autoridades para tomar medidas y cuantificar las emisiones de residuos tóxicos de las centrales de generación. Hoy en día, todas las centrales de generación están obligadas a presentar un reporte a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), acerca de: su consumo de combustible, sus emisiones y otras características de operación. Este reporte es conocido como la Cédula de Operación (COA), sin embargo estos documentos son considerados como confidenciales, por lo que no son de dominio público.

En Abril del 2004 se elaboró un estimado de las emisiones debido a las centrales generadoras [Massachussets Institute of Technology 2004], éste fue preparado para la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, donde se siguió la metodología recomendada por el Programa de Mejoramiento de Inventarios de Emisiones (*Emissions Inventory Improvement Program*) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en ingles) de Estados Unidos y con información de la capacidad de generación instalada y efectiva de las unidades de generación térmicas del COA [SENER 2002]. Los resultados para el año 2001 y 2002 son los mostrados en las Tabla 2.1 y Tabla 2.2. [Massachussets Institute of Technology 2004]

Tabla 2.1 Capacidad de generación instalada a base de combustibles fósiles y emisiones calculadas de CO₂, Hg, NO_x, y SO₂, por estado (2001)

No. De Estado	Estado	Capacidad Instalada (MW)	CO ₂ , (kt)	Hg, (t)	NO ₂ , (kt)	SO ₂ , (kt)
1	Baja California	1443	3015.94	0.01	7.35	18.43
2	Baja California Sur	355	1074.92	0.01	5.34	11.47
3	Campeche	164	938.23	0.00	1.18	20.91
4	Chihuahua	1829	5292.96	0.02	12.32	59.71
5	Coahuila	2688	14625.71	0.81	99.39	237.16
6	Colima	1900	9455.83	0.04	11.96	206.04
7	Distrito Federal	148	117.57	0.00	0.33	0.00
8	Durango	615	2442.56	0.01	4.1	42.56
9	Guanajuato	866	4085.27	0.02	5.85	84.48
10	Guerrero	2143	9350.72	0.16	21.08	176.17
11	Hidalgo	1993	9413.5	0.04	16.07	163.17
12	Jalisco	24	1.88	0.00	0.01	0.01
13	México	1449	3416.6	0.01	5.52	0.02
14	Nayarit	1	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Nuevo León	1733	5778.91	0.02	13.31	30.43
16	Querétaro	469	1177.72	0.00	3.33	0.02
17	Quintana Roo	257	67.28	0.00	0.38	0.24
18	San Luis Potosí	700	3812.77	0.02	4.88	80.25
19	Sinaloa	1006	4317.66	0.02	7.3	101.86
20	Sonora	1389	5345.95	0.02	8.44	118.49
21	Tamaulipas	1344	6367.91	0.03	11.85	116.12
22	Veracruz	2569	12391.31	0.05	20.67	261.04
23	Yucatán	564	2009.37	0.01	3.76	28.36
	Total	25649	104500.57	1.300	264.42	1756.94

La metodología utilizada en el estimado fue que para cada central, se multiplicó el consumo de combustible total anual por central por los respectivos factores de emisión (Anexo A) para cuatro contaminantes: CO₂, SO₂, NO_x (expresado como NO₂) y mercurio (Hg.).

Tabla 2.2 Capacidad de generación instalada a base de combustibles fósiles y emisiones calculadas de CO₂, Hg, NO_x, y SO₂, por estado (2002)

No. De Estado	Estado	Capacidad Instalada (MW)	CO ₂ , (kt)	Hg, (t)	NO ₂ , (kt)	SO ₂ , (kt)
1	Baja California	1,443	2,402.74	0.01	5.97	7.12
2	Baja California Sur	355	1,028.15	0.00	4.49	12.55
3	Campeche	164	796.03	0.00	1.01	17.74
4	Chihuahua	1,960	5,318.74	0.02	12.85	51.71
5	Coahuila	2,688	12,848.74	0.71	86.35	206.97
6	Colima	1,900	8,384.66	0.04	10.7	182.45
7	Distrito Federal	148	99.47	0.00	0.28	0.00
8	Durango	615	2,276.00	0.01	4.02	36.19
9	Guanajuato	866	3,762.23	0.02	5.39	83.02
10	Guerrero	2,143	8,302.23	0.31	31.24	113.41
11	Hidalgo	1,993	8,719.34	0.04	15.04	158.33
12	Jalisco	24	28.39	0.00	0.11	0.04
13	México	1,449	2,746.66	0.01	4.51	0.01
14	Nayarit	1	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Nuevo León	1,594	3,977.50	0.01	8.7	26.86
16	Querétaro	469	1,433.03	0.00	4.18	0.18
17	Quintana Roo	257	129.82	0.00	0.73	0.47
18	San Luis Potosí	700	2,175.63	0.01	2.88	45.73
19	Sinaloa	1,006	4,115.41	0.02	6.93	97.35
20	Sonora	1,389	4,984.18	0.02	8.39	108.48
21	Tamaulipas	1,344	6,201.20	0.02	12.03	110.89
22	Veracruz	2,669	12,524.98	0.05	20.73	266.2
23	Yucatán	564	2,226.80	0.01	4.22	31.87
	Total	25,741	94,481.93	1.31	250.75	1557.57

Las Tablas 2.1 y 2.2 muestran los resultados del estudio, donde se puede observar que los estados con más emisiones de CO₂, NO₂ y SO₂ son los estados de Coahuila, Veracruz, Hidalgo, Colima y Guerrero, esto debido a que cuentan con varias plantas

termoeléctricas en su territorio que utilizan como combustible: combustóleo, gas y carbón. Además de una nucleoelectrica en Veracruz que utiliza como combustible óxido de Uranio, esto es mostrado en la Tabla 2.3, donde se puede apreciar el tipo de generación en cada central del país, la capacidad instalada, su localización y la generación en el año 2002. La Tabla 2.3 no muestra ninguna central eoloelectrica o fotovoltaica debido a su baja capacidad, [SENER 2006].

Tabla 2.3 Principales Centrales en Operación de CFE hasta el año 2002.

No.	Central	Estado	Tipo	Combustible	Capacidad (MW)	Generación (GWh)
1	B. Domínguez	Chiapas	Hidroeléctrica	-	900	1659
2	M. Moreno T (Chicoasen)	Chiapas	Hidroeléctrica	-	1,500	4,339
3	Malpaso	Chiapas	Hidroeléctrica	-	1,080	3,458
4	Peñitas	Chiapas	Hidroeléctrica	-	420	1,749
5	Temascal	Oaxaca	Hidroeléctrica	-	354	1,520
6	C. Ramírez U. (Caracol)	Guerrero	Hidroeléctrica	-	600	905
7	Infiernillo	Guerrero	Hidroeléctrica	-	1,000	2,762
8	José Ma. Morelos (La Villita)	Michoacán	Hidroeléctrica	-	295	1,187
9	Necaxa (L y FC)	Puebla	Hidroeléctrica	-	109	289
10	Pdte. Plutarco Elías Calles	Sonora	Hidroeléctrica	-	135	233
11	Prof. R. J. Marsal	Sinaloa	Hidroeléctrica	-	100	127
12	Bacurato	Puebla	Hidroeléctrica	-	92	167
13	Aguamilpa	Nayarit	Hidroeléctrica	-	960	1,480
14	L. Donald Colosio (Huites)	Sinaloa	Hidroeléctrica	-	422	484
15	Agua Prieta	Jalisco	Hidroeléctrica	-	240	218
16	Fdo. Hiriart B. (Zimapan)	Hidalgo	Hidroeléctrica	-	292	1,170
17	Fco. Pérez R. (Tula)	Hidalgo	Vapor/CC.	C y G	1,989	12,905
18	Valle de México	México	Vapor/TG.	G	1,087	5,149
19	Jorge Luque (L y FC)	México	Vapor/TG.	G	362	643
20	M. Álvarez M. (Manzanillo)	Colima	Vapor	C	1,200	6,449
20	Manzanillo II	Colima	Vapor	C	700	5,035
21	Salamanca	Guanajuato	Vapor	C y G	866	4,841
22	Villa de Reyes	San Luis P.	Vapor	C	700	2,926
23	Altamira	Tamaulipas	Vapor	C y G	800	4,656
24	A. López M. (Tuxpan)	Veracruz	Vapor	C	2,100	15,031
25	Monterrey	Nuevo León	Vapor	C y G	465	2,538
26	E. Portes G. (Río Bravo)	Tamaulipas	Vapor/TG.	C y G	520	2,777
27	Francisco Villa	Chihuahua	Vapor	C y G	399	1,920
28	Samalayuca	Chihuahua	Vapor	C y G	316	1,233
29	Guadalupe Victoria (Lerdo)	Durango	Vapor	C	320	1,980
30	Puerto Libertad	Sonora	Vapor	C	632	3,350
31	C. Rodríguez (Guaymas III)	Sonora	Vapor	C	484	2,259
32	J. Aceves P. (Mazatlán II)	Sinaloa	Vapor	C	616	3,284
33	Pdte. Juárez (Rosarito)	B. C. N	Vapor/CC./TG	C y G	1,326	2,137
34	Lerma (Campeche)	Campeche	Vapor	C	150	813
35	Mérida II	Yucatán	Vapor	C y G	168	1,100
36	J. De Dios Batiz	Sinaloa	Vapor	C	360	1,997
37	F. Carrillo Puerto	Yucatán	Vapor/CC.	C y G	295	1,933

38	J. López P. (Río Escondido)	Coahuila	Carbón	K	1,200	7,516
39	Carbón II	Coahuila	Carbón	K	1,400	8,636
40	Cerro Prieto	B. C. N	Geotérmica.	-	720	4,930
41	Laguna Verde	Veracruz	Nucleoeléctrica	UO2	1,365	9,747
42	Agustín Olachea (San Carlos)	B. C. S.	Comb. Interna	C y D	104	471
43	Pdte. P. Elías C. (Petacalco)	Guerrero	Dual	C y K	2,100	13,879
44	Samalayuca II	Chihuahua	CC.	G	522	3,902
45	Huinala	Nuevo León	CC./TG.	G	517	2,591
46	Huinala II	Nuevo León	CC.	G	450	1,333
47	Dos Bocas	Veracruz	CC.	G	452	2,429
48	El Sauz	Queretaro	CC./TG.	G	469	2,866
49	Gómez Palacio	Durango	CC.	G	200	1,045
50	Poza Rica	Veracruz	Vapor	C	117	654
51	Punta Prieta	B. C. S.	Vapor	C	113	622
52	Azufres	Michoacán	Geotérmica.	-	88	299
53	Mazatepec	Puebla	Hidroeléctrica	-	220	539
54	Cupatitzio	Michoacán	Hidroeléctrica	-	72	374
55	27 de Septiembre (El Fuerte)	Sinaloa	Hidroeléctrica	-	59	209
56	Nachi-Cocom II	Yucatán	Vapor/TG.	C y D	79	270
57	Cobano	Michoacán	Hidroeléctrica	-	52	210
58	Humeros	Puebla	Geotérmica.	-	25	146
59	Humaya	Sinaloa	Hidroeléctrica	-	90	104
60	Dos Bocas	Michoacán	Hidroeléctrica	-	60	185
61	M. M. Diéguez (Sta. Rosa)	Jalisco	Hidroeléctrica	-	61	207
62	Patla (L y FC)	Puebla	Hidroeléctrica	-	37	69
63	Tres Vírgenes	B. C. S.	Geotérmica.	-	10	22
64	La Amistad	Coahuila	Hidroeléctrica	-	66	46
65	Chihuahua II (El Encino)	Chihuahua	CC.	G	554	3,279
66	Colimilla	Jalisco	Hidroeléctrica	-	51	29
67	Otras	-	-	-	2,074	5,029
	TOTAL	-	-	-	37681	178341

CC.: Ciclo Combinado

TG.: Turbogás

C: Combustóleo

K: Carbón

G: Gas.

UO2: Óxido de Uranio

D: Diesel

Algunas de las consideraciones que fueron tomadas por el *Massachusetts Institute of Technology* son las siguientes:

Emisiones de SO₂. Las emisiones de este contaminantes no sólo dependen del tipo de combustible, sino también del tipo y la configuración de la caldera, por ejemplo, si es de calentamiento tangencial o de pared, de fondo húmedo o seco. Sin embargo, las emisiones de SO₂ son directamente proporcionales al contenido de azufre en el combustible y la cantidad de combustible consumido. Por ende, la precisión de los cálculos de SO₂ depende, a su vez, de la precisión con la que se notifica el contenido de azufre en el combustible. Se usó el contenido de azufre promedio ponderado anual para 2001 de la CFE, proporcionado por la SENER (2003). Cabe mencionar que las centrales usan combustóleo ya sea local o importado. El combustóleo producido por las refinerías locales tiene un alto contenido de

azufre del 3 al 4 %, mientras que el combustóleo importado contiene del 1 al 2 % de azufre. El valor promedio ponderado de azufre en el combustóleo usado en las centrales en 2001 osciló entre 3.3 y 3.9 %. El contenido de azufre notificado en el combustóleo importado fue de 1.7 %. Se reporta que el contenido de azufre del diesel es de 0.5 % para todas las centrales que usan este combustible. Según informa la CFE, el contenido de azufre del carbón es de 1% para las dos centrales que usan carbón mexicano y de 0.5% para la central de Petacalco, que usa carbón importado.

Emisiones por CO₂. Para una composición de combustible dada, es posible calcular valores bastante precisos de este importante gas de invernadero. Aplicando los factores de emisión del Anexo A se calculan los valores de emisiones de CO₂.

Emisiones de NO_x. Las emisiones de NO_x son una función del tipo de combustible y la temperatura de combustión. En general, las instalaciones más grandes tienen factores de emisión mayores porque operan a una temperatura más elevada. Además, la configuración del equipo de combustión puede afectar significativamente el índice de formación de óxidos de nitrógeno. En el caso de las calderas que usan combustóleo o gas natural, el factor de emisión es mayor que en las calderas de calentamiento tangencial.

2.4 Contaminación por metales pesados

Debido a la acción del hombre los suelos se han contaminado, un ejemplo de ello es la generación de energía eléctrica. La combustión de carbón es una de las principales fuentes de deposición de metales en los suelos. Las concentraciones de metales pesados en los suelos traen como consecuencia efectos tóxicos para los animales y humanos que consumen la vegetación de estos suelos.

Un ejemplo es en Uruguay dónde contaminación del suelo por metales pesados está distribuida como se muestra en la Figura 2.4 [Instituto de edafología de Uruguay 2006], donde aparece que las emisiones por carbón son bastante considerables, siendo el carbón uno de los combustibles fósiles utilizados para la generación de energía eléctrica.

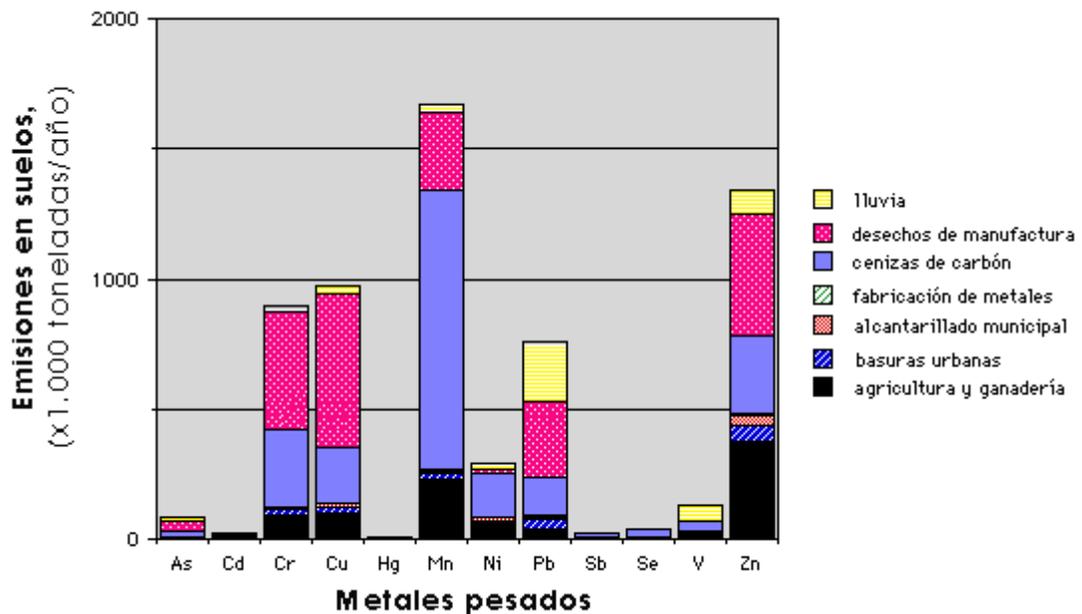


Figura 2.4 Distribución de la contaminación de metales en el suelo

2.5 Impacto ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas

En las centrales hidroeléctricas de gran tamaño, donde el caudal de agua utilizado es grande, el efecto sobre el ecosistema puede ser devastador, ya que se afecta a las temperaturas medias y extremas, al caudal de ríos, riachuelos o lagunas cercanas a la central, se sumergen bosques provocando la expulsión de poblaciones de animales de su hábitat y la eliminación de vegetación en tales áreas, se desestabilizan las tierras colindantes produciéndose deslizamientos.

2.6 Los automóviles y la contaminación

Estando tan de moda el tema del calentamiento global, se ha escuchado hablar acerca del impacto ambiental de los automóviles. Aunque existe ya, lo que se conoce como los automóviles “limpios” es cierto que aún la industria automotriz no es sostenible en este tema. Según la revista *Union of Concerned Scientists* [Marck 2003] dice “los vehículos nuevos son menos eficientes que los de hace dos décadas, y el promedio continua decayendo”.

En los años 50's murieron tres mil personas en un solo día en la ciudad de Londres a causa de un episodio de contaminación atmosférica y algunos cientos en Los Angeles por otro [Medellín 2003].

Hace poco tiempo muchos productores de automóviles declaraban su iniciativa para elaborar autos eléctricos y así reducir los índices de contaminación. Pero sin embargo la electricidad que requieren actualmente es generada a base del consumo de combustibles fósiles. Otra novedad son las llamadas celdas de combustible, las cuales están basadas en Hidrógeno. El Hidrógeno es "limpio", ya que al quemarse solo produce agua, pero para poder generar el Hidrógeno se requiere de electricidad.

Según los fabricantes, los Vehículos Eléctricos (VE) pueden ofrecer transporte libre de contaminación y con un consumo de combustible a la mitad de lo que se consumiría con un vehículo normal de gasolina o diesel. Mientras que los vehículos híbridos todavía producen emisiones de gases contaminantes aunque reducen el consumo de combustible, los vehículos eléctricos ofrecen la opción de transporte más limpio sin emisiones de gases ya que sus baterías se recargan con energía renovable (solar).

Además del VE, se requiere de la estación de carga. Desgraciadamente, la General Motors (GM) y Toyota usaron cargadores que no estaban a bordo del vehículo. Muchos de estos cargadores se instalaron originalmente en los estacionamientos y negocios como algunos centros comerciales, pero con la desaparición del programa de VE por parte de la GM, los cargadores se han descompuesto, han sido desconectados de la fuente de potencia o removidos totalmente. La Ford Ranger tenía un cargador a bordo, pero usaba un conector especial llamado Avcon en lugar de un tapón normal por lo que no era universal. Esta situación puede resolverse con un adaptador para permitir uso de contactos eléctricos normales [Prange 2007].

A pesar de que los VE están siendo cada vez más utilizados, aun así el obtener uno es más difícil que obtener un vehículo normal de combustible. Los vehículos eléctricos más comunes que se pueden encontrar son vehículos de gasolina convertidos a VE mediante

varios equipos. Existen dos diferentes equipos, kits universales y kits personalizados. Los equipos universales contienen todos los componentes del sistema de manejo esenciales pero también con la opción de que se puedan crear partes personalizadas como compartimientos para baterías. Probablemente un VE construido con un equipo universal tiene componentes de buena calidad, pero los compradores deben prestar la atención en la calidad de la carga de la batería. Los equipos personalizados incluyen el sistema de manejo completo más las cajas para las baterías, que se diseñan para modelos específicos.

Varias compañías pequeñas produjeron VE en los 70s hasta principios del 2000, debido a los problemas ocasionados por el consumo de combustibles fósiles. Se construyeron algunos vehículos, como el CitiCar y Tropica, que fueron el principio de los VEs.

Los intereses económicos involucrados en la industria automotriz constituyen la mayor resistencia para acelerar el desarrollo de los vehículos eléctricos. De acuerdo con el presidente de la ANTP (Asociación Nacional de Transportes Públicos) de Brasil, Rogério Belda, una parte importante de la industria internacional efectuó grandes inversiones en la base tecnológica actual y no pretende cambiarla [Longuini 2007].

El presidente de la ANTP remarca que los vehículos eléctricos, a pesar de ser los únicos que evitan la contaminación, presentan un precio de comercialización y un desempeño que constituyen un obstáculo.

Los automóviles híbridos son los que más han avanzado en materia, entre los mejores está el de la Toyota (Pirus) y los de la Honda (Insight y Civic Híbrido), aunque el más destacado es el Pirus. Un vehículo híbrido es aquel que combina un motor convencional con otro eléctrico. El funcionamiento consiste fundamentalmente en que el motor eléctrico transforma la energía cinética en electricidad, acumulándola en una batería que alimenta el motor eléctrico cuando resulta necesario su apoyo, lo cual significa un menor consumo de combustible y la reducción de emisiones.

El Pirus, ahorra gasolina al usar una batería y un motor eléctrico además del motor convencional, de tal manera que se reduce el consumo de combustible y la batería se carga al aplicar los frenos. Sin embargo la tecnología sigue siendo cuestionable desde el punto de vista financiero. Kazuo Okamoto, jefe de investigación y desarrollo de Toyota, reconoce que los híbridos son menos redituables que vehículos a gasolina equivalentes. "No está claro si es un buen negocio", indicó Dave Cole, presidente del Centro por la Investigación Automotriz en Ann Arbor, Michigan. "No tiene nada que ver con el desempeño y la ejecución, pero tiene todo que ver con la economía" [El Universal 2005].

A pesar de que la idea básica de un vehículo híbrido parece sencilla, darle forma y hacerla viable comercialmente ya no lo parece tanto. Arquitectónicamente, meter dos o más motores en un coche plantea muchas dificultades técnicas y problemas muy caros de resolver. Además, hay que utilizar características mecánicas y eléctricas que realmente aporten algo, que trabajen de verdad, y eso requiere también baterías potentes y grandes modificaciones en las plantas eléctricas de los coches. Como consecuencia, los vehículos se encarecen bastante y su salida comercial se ve obstaculizada [Varona 2007].

Los problemas son la costosa y voluminosa batería, el complicado sistema eléctrico y el motor eléctrico que necesita un híbrido. Cole estimó que la construcción de vehículos híbridos cuesta entre 4,000 y 7,000 dólares adicionales, y proporcionan un ahorro de combustible de 30 por ciento. Pero, incluso después del reciente aumento de los precios de la gasolina, la mayoría de los clientes no ahorra lo suficiente en combustible como para justificar el mayor costo, así que los fabricantes terminan aceptando un menor premio y por lo tanto una menor ganancia que la que podrían obtener con un auto normal. [El Universal 2005].

Estas dificultades se plasman en un vivo debate sobre la viabilidad de los motores híbridos. En el reciente Salón de Detroit se vivió una situación paradójica. Mientras General Motors presentaba sus últimos avances en materia de híbridos, uno de sus máximos responsables, Bob Lutz, se presentó diciendo que "los híbridos son una moda pasajera, una tecnología sin futuro". Las palabras de Lutz han sacado a la luz un debate que llevaba

tiempo rondando entre los ingenieros y los científicos: ¿son realmente los híbridos una solución a largo plazo para combatir la polución y la dependencia energética? [Varona 2007].

Capítulo 3

Sistemas Eoloeléctricos y Fotovoltaicos.

3.1 Sistema solar fotovoltaico

La Tecnología FotoVoltaica (TFV) se basa en el fenómeno conocido como “efecto fotovoltaico”. El efecto fotovoltaico es la conversión directa, en un dispositivo llamado celda fotovoltaica, de radiación electromagnética en corriente eléctrica. El efecto fotovoltaico fue descubierto por el científico francés Edmund Becquerel en 1830, pero, la tecnología se desarrolló hasta 1954 con la primera celda fotovoltaica.

En la actualidad, el costo de la tecnología fotovoltaica es aún más elevado que las utilidades generadas, ésta es la principal razón por la que su uso ha sido limitado a utilizarse en lugares no conectados a la red eléctrica. Conforme el precio de los sistemas fotovoltaicos ha descendido su desarrollo ha crecido.

Se espera que las aplicaciones de la TFV continúen encontrando mercado en muchos países en desarrollo y para los países desarrollados con preocupación medioambiental. En Estados Unidos hasta el año 2000 se habían instalado Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSF) en más de 65 ciudades en 24 estados, todo debido a la baja de su costo. Entre 1980 el costo de un módulo fotovoltaico era de más de \$20 dólares por watt y en 1986 bajó a menos de \$5 dólares por watt. Durante casi el mismo periodo, el costo de la electricidad con SSF ha bajado de casi \$1dólar por kilowatt a \$0.20 dólares por kilowatt [Patel 1999], tal como se puede apreciar en la Figura 3.1, [Patel 1999].

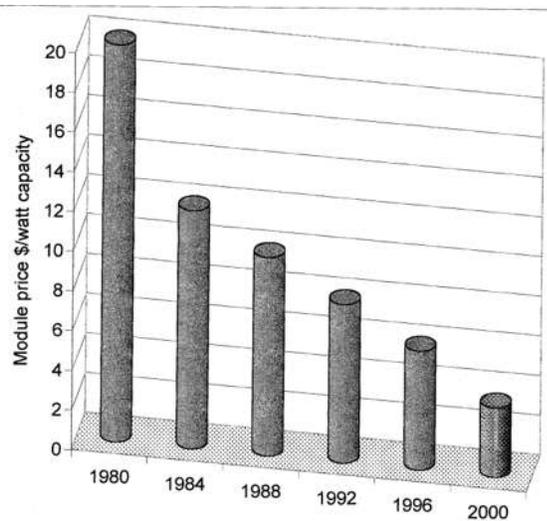


Figura 3.1 Tendencia del costo de un modulo fotovoltaico

3.2 Generación de energía eléctrica con un SSF

El componente básico del sistema solar fotovoltaico es la celda solar, que debe de hacerse de un material semiconductor; el más común es una clase de silicio que forma parte de aproximadamente más de un cuarto de la corteza terrestre.

El funcionamiento de una celda es que cuando la luz solar calienta la superficie de la celda, los electrones se separan de los átomos y se genera un flujo de corriente eléctrica. Los contactos metálicos en la parte superior e inferior de la celda permiten que la corriente fluya a través de un circuito externo para producir energía eléctrica. En la Figura 3.2 se puede ver a grandes rasgos una celda solar básica.

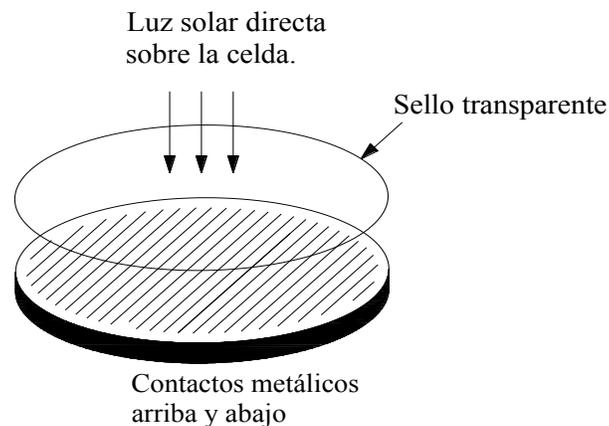


Figura 3.2 Celda Solar

Se pueden agrupar grandes cantidades de celdas solares para formar unidades y producir considerables cantidades de energía. Las celdas se unen mediante cables y se montan en una estructura para formar módulos, Figura 3.3 [Ortega 2000], los cuales a su vez se pueden unir para formar redes.

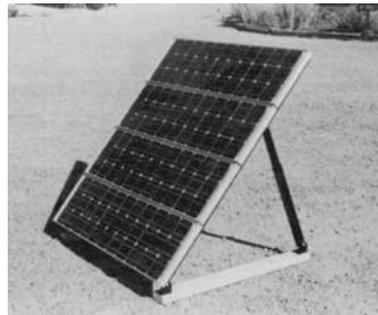


Figura 3.3 Módulo fotovoltaico

La corriente eléctrica generada en una celda solar es corriente directa (CD), y generalmente es almacenada en una batería para usarse cuando se desee. La tensión de trabajo de la celda depende de las características fisico-químicas propias del material de construcción, a nivel comercial es el silicio el material base de las celdas fotovoltaicas, aunque existen otros materiales para la fabricación de las celdas, con tensiones diferentes a la del silicio. La tensión de trabajo de una celda fotovoltaica de silicio es del orden de 0.5 volts.

La CD puede ser transformada fácilmente a corriente alterna (CA), mediante convertidores de estado sólido. Los componentes básicos de un sistema fotovoltaico son mostrados en la Figura 3.4 donde se puede observar la presencia de la batería.

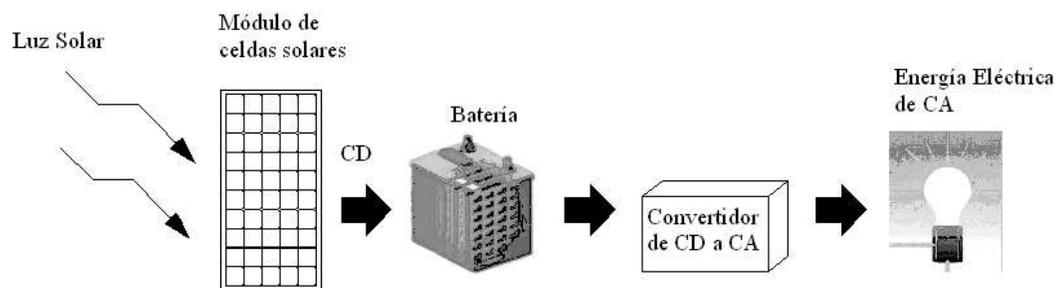


Figura 3.4 Sistema Fotovoltaico

Con el fin de conseguir tensiones de operación mayores a 0.5 volts, se necesitan conectar series de entre 230 y 360 celdas para llegar a tensiones del orden de 20 volts de CD. Sin embargo se habla de una tensión nominal de 12 volts de CD (capacidad comercial de las baterías). El exceso de tensión se requiere para: compensar las caídas en los conductores, cargas o aparatos de consumo, además de que para cargar una batería con los 12 volts nominales se requieren aproximadamente tensiones de 14.5 volts, así como para compensar pérdidas por efecto joule.

Una de las características eléctricas esenciales de los módulos fotovoltaicos es su curva de trabajo I-V (corriente-voltaje). Los valores de corriente y voltaje dependen de la insolación, de la temperatura de la celda, la masa de aire que atraviese la radiación solar y la carga. Para poder comparar los módulos con otros es necesario homogenizar las condiciones de medida de los valores de V y I. Las condiciones estándar corresponden a una luz incidente con una intensidad de 1000w/m^2 , a una temperatura de la celda de 25°C y una distribución espectral correspondiente al de la radiación solar cuando se atraviesa una masa de aire de 1.5; esto quiere decir que el rayo solar ha recorrido desde el momento en que penetra en atmósfera hasta incidir en la celda una distancia de 1.5 veces mayor que la que recorrería si su trayectoria fuera perpendicular al plano terrestre [Ortega 2000]. Un ejemplo de la curva característica de un módulo fotovoltaico es mostrado en la Figura 3.5.

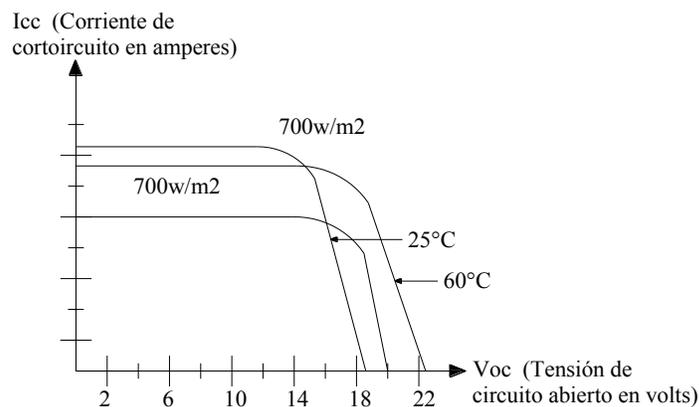


Figura 3.5 Curva característica I-V de un módulo fotovoltaico

Donde:

V_{oc} es la tensión de circuito abierto, que es el voltaje cuando no hay conectada alguna carga.

I_{cc} es la corriente de cortocircuito, es decir, cuando no hay conectada alguna carga y se cortocircuitan sus terminales.

Por lo que su potencia está dada por la siguiente ecuación:

$$P = V \cdot I \quad (3.1)$$

3.3 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

a.) Aplicaciones no conectadas a la red [Ortega 200]:

1. Electrificación rural y poblaciones aisladas. Es una de las razones principales por la que se desarrolló gran parte de la TFV, ya que fue una de las primeras aplicaciones que se le dio a la energía fotovoltaica, debido a la poca costeabilidad de extender la red eléctrica nacional. Las necesidades básicas que debe cubrir son: iluminación, pequeños sistemas de bombeo, equipo agropecuario y electrodomésticos. El número de módulos instalados varía desde pequeñas y medianas instalaciones hasta grandes para poblaciones un poco más extensas.
2. Electrificación de locales para servicios a la comunidad. Esto se refiere a su instalación en escuelas, iglesias, centros médicos y hospitales, para cumplir sus necesidades básicas, tomando el cuidado de tener equipos de emergencia en caso de falla, para evitar interrupciones en el suministro, que en algunos casos pueden resultar desastrosos, tal es el caso de los hospitales.
3. Suministro eléctrico de naves agrícolas en lugares aislados. Es el caso de los sistemas de riego, para la iluminación de ponederos de gallinas, alimentación de varias herramientas, máquinas ordeñadoras y demás necesidades agrícolas.
4. Telecomunicaciones. Telefonía de autopistas y carreteras, telefonía rural y radios.
5. Iluminación pública. En sistemas autónomos instalados, en la propia lámpara se cuenta con un regulador de carga para la batería y un control de encendido y apagado automático. Se hace para soportar periodos nublados de al menos cinco días sin decaimiento de la iluminación.

6. Señalización. Faros, señalizaciones marítimas, aéreas, de obras en carretera, etc., son aplicaciones usadas en la actualidad.
7. Sistemas de control de parámetros medioambientales. Por medio de la TFV se puede suministrar energía eléctrica para controles de detección de incendios forestales, adquisición de datos climáticos para su posterior análisis y estudio.

b.) Aplicaciones conectadas a la red:

1. Casas habitación conectadas a la red. Para bajar el costo del consumo de energía eléctrica se puede inyectar a la red la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos (mediante inversores de CD a CA), con frecuencia de acuerdo a la disponible a la red.
2. Centrales fotovoltaicas y mixtas. Centrales de generación que con diferentes controles e inversores se obtiene una señal sinusoidal con frecuencia a la disponible en la red. Tales centrales pueden ser mixtas, es decir, eólicas y fotovoltaicas, o algunas que combinan la combustión de diesel o gas natural con la fotovoltaica.

3.4 Sistema eólico

El uso del poder del viento data de muchos años atrás, los primeros usos de éste, fue en los veleros hace unos 5000 años en el río Nilo, otra de sus utilidades fue para moler grano con los famosos molinos de viento. Los más antiguos molinos de viento pueden situarse en Persia hace unos 3700 años a. C. [Ortega 2000]. También en Europa se utilizaron entre 1700 y 1800 d. C. además de utilizar el viento para bombear agua [Patel 1999]. La aplicación de los molinos de viento, era para facilitar o sustituir el trabajo humano o animal, en la dura actividad de la molienda de granos.

Actualmente se aprovecha el uso del poder del viento para la generación de energía eléctrica y bombeo de agua. Para lo anterior se requiere de gran infraestructura para generar potencias grandes.

El desarrollo actual de la tecnología eólica va en aumento, entrando a su aprovechamiento en gran escala, con la inversión de varios países desarrollados y subdesarrollados en grandes parques eólicos. Recientemente la capacidad media de los sistemas eoloeléctricos era de 300 kilowatts (KW), pero los nuevos sistemas desarrollados e instalados van desde los 500KW hasta los 1000KW, donde el costo aproximado era de \$0.35 dólares por kilowatt-hora (KWh) en 1980 y de menos de \$0.05 dólares en 1997 [Patel 1999].

3.5 Generación de energía eléctrica con sistemas eólicos

Los sistemas eoloeléctricos (SE) parecen ser una fuente de energía eléctrica muy prometedora, muchos países han promovido iniciativas e implementaciones de este tipo de generación. *The International Energy Agency* (IEA) con la provisión de recursos financieros de 14 países, apoya los proyectos de investigación e intercambio de información para el desarrollo de las fuentes eólicas. Estos países son Austria, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Alemania, Italia, Japón, los Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, España, Suecia, el Reino Unido y Estados Unidos. A principios de 1995, más de 25,000 turbinas eólicas estaban instaladas en los países mencionados, sumando una capacidad colectiva de aproximadamente 3,500MW, produciendo más de 6 GWh por año [Patel 1999]. Según la IEA, las capacidades instaladas en algunos de los países miembros de tal organización es la mostrada en la Tabla 3.1, [Patel 1999].

Tabla 3.1 Capacidad instalada en algunos de los países miembro de la IEA

País	1994 MW	1995 MW	1997 MW	Crecimiento 1994-1995 (en %)	Crecimiento anual 1994-1997 (en %)
Alemania	643	1136	2079	76.7	35.2
Estados unidos	1785	1828	2000	2.4	4.7
Dinamarca	540	614	1141	13.7	36.3
Países bajos	153	259	325	69	12.0
Reino Unido	147	193	308	31	26.3
España	72	145	455	100	77.1
TOTAL	3552	4776	7308	35.4	23.7

En México se ha adquirido experiencia en lo que se refiere a SE, un ejemplo de ello son las centrales de La Venta I y La Venta II. Y aunque las dos compañías federales (Comisión Federal de Electricidad y Luz y Fuerza del Centro) proveen casi el 95% de electricidad a base del consumo de combustibles fósiles, también se cuentan con departamentos de Energías Renovables.

Los componentes básicos de un sistema eolieléctrico son los siguientes:

- La torre.
- La turbina de viento, con dos o tres hojas.
- Engranaje mecánico.
- Generador eléctrico.
- Sensores y controles de velocidad.
- Bancos de baterías.
- Convertidores para conectar el sistema a la red.

Varios de los componentes del sistema están contenidos en la turbina, que a su vez está montada en la torre. Es por ello que las turbinas eólicas son de grandes dimensiones. Las dimensiones de un aerogenerador de un sistema eólico es mostrado en la Figura 3.6, [Patel 1999], dónde aun cuando no es uno de los aerogeneradores más grandes se puede ver que son de considerables dimensiones.



Figura 3.6 Turbina de viento

Algunos de los proyectos de expansión para el crecimiento del sistema de generación eólica son los mostrados en la Tabla 3.2 [CFE 2002]. Los proyectos de la Tabla 3.2 ya se encuentran en el estudio de factibilidad.

Tabla 3.2 Catálogo de Proyectos Eólicos de CFE.

Área	Proyecto	Número de Unidades	Capacidad por Unidad (MW)	Estado	Generación media anual (GWh)	Costo Nivelado (\$/KWh)
Oriental	La Venta III	117	1.3	Oaxaca	572.6	0.306
Oriental	La Venta IV	156	1.3	Oaxaca	764.7	0.305

Aunque la Venta I y II son las centrales eólicas de mayor generación en México, también existen otras más como las de las zonas rurales y la Central eólica de Guerrero Negro, Baja California Sur, localizada dentro de la Zona de Reserva de la Biósfera de El Vizcaíno con una capacidad de 0.6MW y consta de un solo generador [CFE 2002].

Como se puede apreciar el uso de los SSF y SE va poco a poco en aumento en la república mexicana, teniendo mayores posibilidades de expansión las centrales eólicas conectadas a la red.

Capítulo 4

Almacenamiento de Energía (Baterías)

Una de las desventajas de los sistemas eólicos y fotovoltaicos, es que su generación es intermitente, es decir, que no se puede generar toda la demanda las 24 horas del día, los 365 días del año, debido, a que su generación depende de situaciones difíciles de controlar, como es el grado de insolación y el poder del viento. Es por eso, que se utiliza un medio para poder almacenar la energía eléctrica generada, tal medio generalmente es el uso de baterías o acumuladores eléctricos.

Un acumulador eléctrico o batería es un dispositivo que permite, mediante un proceso electroquímico, almacenar la energía eléctrica en forma de energía química y liberarla cuando se conecta a un circuito de consumo externo. Las reacciones químicas que tienen lugar, son reversibles y pueden ser recargadas cuando se conecta a las terminales de éstas una fuente de energía externa.

Hoy en día el uso de baterías es muy común en la vida cotidiana, un ejemplo de ello, son las utilizadas en la telefonía celular, calculadoras, y todo tipo de aparatos electrónicos. Desde su descubrimiento por Alejandro Volta a principios del siglo XIX hasta las últimas décadas, la tecnología de las baterías ha tenido sólo mejoras moderadas en lo que se refiere a la capacidad más alta y el tamaño más pequeño. Comparado con los inmensos avances de la microelectrónica, la falta de progreso en la tecnología de las baterías está clara. La tecnología de las baterías todavía está basada en un proceso electroquímico, por lo

que la reducción de su tamaño comparado con la microelectrónica aún no es posible usando las técnicas actuales.

Debido a la tendencia del mundo actual a usar dispositivos inalámbricos, de bajo tamaño y peso, es lo que ha llevado a la investigación de diferentes tipos de baterías con capacidades específicas, tratando de satisfacer necesidades particulares para cada usuario.

Por lo anterior es que el tipo de baterías en el mercado es muy variado, pero ¿En qué consiste la diferencia entre unas u otras?

4.1 Tipos de baterías

La principal diferencia entre una batería y otra, es su composición química, o material del cual está elaborada, lo cual da como resultado características específicas para cada una, como es su tiempo de servicio, dimensiones, capacidad, así como los ciclos de carga y descarga, es decir el número de ciclos que se puede cargar y descargar una batería sin perder sus propiedades de almacenamiento.

Algunos de los tipos de baterías que existen en el mercado, son los mencionados a continuación [Buchmann 1997]:

4.1.1 Batería de níquel cadmio (NiCd)

La tecnología de batería de níquel alcalina se originó en 1899, cuando Waldmar Jungner inventó la batería de NiCd. Es de las primeras y de estructura sencilla pero con una densidad de energía relativamente baja. El NiCd se usa donde la larga vida, rango alto de descarga y bajo precio son importantes.

Algunas ventajas y desventajas de la batería de NiCd se mencionan a continuación.

Ventajas:

1. Poco tiempo de carga incluso después del almacenamiento prolongado.
2. El número alto de ciclos de carga/descarga por encima de 1000.

3. El NiCd permite recargar a bajas temperaturas.
4. Pueden ser almacenadas y transportadas sin ningún cuidado especial, como es el caso de aviones o camiones.
5. Buen desempeño a temperaturas bajas.
6. Precios bajos, el NiCd es la batería del costo más bajo por lo que se refiere a costo por ciclo, es decir que su costo es bajo y su durabilidad es alta.
7. Disponible en una gama amplia de tamaños y características de acuerdo a su utilización.

Desventajas:

1. La densidad de energía es relativamente baja, comparada con los sistemas más nuevos.
2. Medioambientalmente hostil. El NiCd contiene metales tóxicos. En algunos países está limitando el uso de la batería de NiCd.
3. Tiene una descarga por si misma relativamente alta. Necesita que se recargue después del almacenamiento, incluso cuando no sea utilizada.

Las aplicaciones principales son radios bidireccionales, equipo biomédico, las cámaras de video profesionales y herramientas de poder.

4.1.2 Batería de níquel metal hídrico (NiMH)

La investigación del sistema de NiMH empezó en los años setenta para descubrir cómo guardar el hidrógeno en una batería de hidrógeno de níquel. Hoy, las baterías de hidrógeno de níquel son principalmente usadas para las aplicaciones satelitales, las cuales son voluminosas y el costo de cada una es de los miles de dólares.

El éxito del NiMH se ha manejado por su densidad de energía alta y el uso de los metales medioambientalmente amistosos. El NiMH moderno ofrece un 40% de energía más alta que la del NiCd.

NiMH y NiCd son afectados por su alta auto-descarga, ya que aunque no se utilice, una batería de Ni se descarga por sí sola. El NiCd pierde aproximadamente 10 por ciento de su capacidad dentro de las primeras 24 horas, después sufre una auto-descarga de aproximadamente 10 por ciento por mes. La auto descarga NiMH es aproximadamente 1.5 veces mayor que la del NiCd.

Inicialmente las baterías de NiMH eran más caras que las de NiCd, pero sus costos han caído hasta llegar a casi costos iguales para potencias similares.

A continuación, se mencionan algunas de las ventajas y desventajas de la batería de NiMH.

Ventajas:

1. Capacidad de energía de un 30 a un 40% más que de NiCd normal.
2. No requiere de trato especial para transportarla y almacenarla.
3. Medioambientalmente amistoso. Contiene químicos que pueden ser reciclados.

Desventajas:

1. La descarga de corriente. Aunque una batería de NiMH es capaz de entregar altas corrientes de descarga, las descargas repetidas de corrientes grandes reducen el ciclo de vida de la batería.
2. La alta auto-descarga. El NiMH tiene aproximadamente un 50% de auto-descarga más alto que la del NiCd.
3. El mantenimiento periódico. La batería requiere regularmente una descarga total para prevenir la formación cristalina.
4. Un poco más costosa que la batería de NiCd.

Las aplicaciones incluyen los teléfonos móviles y computadoras portátiles.

4.1.3 Batería de ácido de plomo

Inventada por el médico francés Gaston Planté en 1859, la batería de ácido de Plomo fue la primera batería recargable para uso comercial. Hoy, la batería ácida se usa en los automóviles y sistemas de suministro continuo de grandes potencias (UPS). Existen dos tipos de batería de ácido de Plomo: la SLA y VRLA. La batería SLA es en la que la batería está totalmente sellada, y es para potencias pequeñas. La VRLA es una batería de ácido de plomo la cual cuenta con unas válvulas de seguridad para permitir la salida de los gases de escape durante los ciclos de carga y descarga, ésta es utilizada para potencias más grandes.

La SLA tiene un rango de capacidad típico de 0.2Ah a 30Ah y potencia para equipos portátiles, algunas de sus aplicaciones son los UPS personales para PC, la iluminación de emergencia y sillas de ruedas, entre otras aplicaciones.

La batería de VRLA generalmente se usa para las aplicaciones estacionarias. Sus capacidades van de 30Ah a varios miles Ah y se encuentra en los sistemas UPS grandes, también se usan como respaldo de potencia para los bancos, hospitales, aeropuertos e instalaciones militares.

Algunas ventajas y desventajas de la batería de ácido de plomo se mencionan a continuación:

Ventajas:

1. Barata y de simple fabricación.
2. Es durable y proporciona el servicio confiable.
3. Tiene un nivel bajo de auto-descarga. La auto-descarga está entre las más bajas en los sistemas de baterías recargables.

Desventajas:

1. Permite sólo un número limitado de descargas totales. Es para aplicaciones de reserva que requieren sólo descargas totales muy ocasionales.

2. Medioambientalmente hostil. El Plomo causa un gran daño al medio ambiente y para la salud.

La batería ácida es la opción preferida para el equipo de hospital, las sillas de ruedas, lámparas de emergencia y los sistemas UPS.

4.1.4 Batería de litio ion (Li-ion)

El pionero en la investigación de la batería de litio fue G.N. Lewis en 1912, pero hasta principios de los 70's fue que las baterías de litio no recargables salieron al mercado, aunque la batería de litio ion recargable se dio hasta los 80's.

El litio es el más ligero de todos los metales, tiene el más grande potencial electroquímico y proporciona una alta densidad de energía, es decir, mucha energía en un tamaño pequeño, lo anterior debido a su bajo peso.

Después de mucha investigación en las baterías del litio recargables durante los 80's, se encontró que el tiempo causa cambios en el electrodo de litio. Estas transformaciones son parte del desgaste normal, reduciendo la estabilidad térmica, causando condiciones de potencia térmica incontrolada. Cuando esto ocurre, la temperatura celular aumenta rápidamente pudiendo llegar al punto de fusión del litio, produciéndose una reacción violenta en la cual pueden emitirse gases flameables.

Es por lo anterior por lo que llega la batería de Litio ion, la cual utiliza litio no metálico, siendo una batería más segura, pero pagando el precio de que la densidad de energía es menor que en las baterías de litio metálico.

En 1991, la Corporación de Sony mercantilizó la primera batería de Li-ion. Otros fabricantes le siguieron, siendo hoy el químico de baterías de más rápido crecimiento en el mundo.

El acumulador eléctrico de Li-ion no requiere de descargas totales periódicas, una ventaja que la mayoría de las otras baterías no pueden ofrecer. Además, la auto-descarga está a menos de la mitad comparada con la del NiCd y del NiMH. El alto voltaje celular del Li-ion permite que la fabricación de algunas baterías sea con una única celda, para aplicaciones microelectrónicas, simplificando con ello el diseño de la batería.

Las baterías de litio-ion son medioambientalmente menos dañinas que las baterías de ácido de plomo y de NiCd.

A pesar de sus ventajas globales, el Li-ion tiene también sus limitaciones. Es frágil y requiere un circuito de protección para mantener un funcionamiento seguro, el cual debe ser construido en cada batería, para prevenir altas temperaturas.

El envejecimiento es otra limitante, pues con el tiempo la capacidad de la batería se ve deteriorada. Por ejemplo, después de un año la capacidad de la batería se deteriora notablemente. Después de dos o tres años la batería falla, y generalmente es desechada.

Algunas ventajas y desventajas de la batería de Li-ion son mencionadas a continuación:

Ventajas:

1. Densidad de energía alta.
2. Auto-descarga baja. La auto-descarga es menos de la mitad del NiCd y NiMH.
3. Poco mantenimiento. No necesita de descarga periódica.
4. Poco peso y espesor.
5. Alto voltaje por celda.
6. Descarga lineal.

Desventajas:

1. Requiere de un circuito de protección.

2. Deterioro en la capacidad causada por el envejecimiento, aun cuando la batería no se use.
3. Requiere de transporte con un control especial.
4. Altos costos de fabricación. Costo aproximadamente 40 por ciento superior que el costo de la batería de NiCd.
5. Pueden sobrecalentarse hasta el punto de explotar.

4.1.5 Batería de polímetro de litio (Li-polímetro)

La batería de Li-polímetro se diferencia del resto de las baterías por el tipo de electrolito usado. El diseño original fue desarrollado en los años setentas y sólo usaba un electrolito seco de polímero sólido. El electrolito del polímero remplazó al separador poroso tradicional que se empapa con el electrolito.

El diseño de polímero seco ofrece simplificaciones con respecto a la fabricación, la seguridad, y la geometría delgada. No hay peligro de flameabilidad ya que no usa electrolito líquido o gel.

Desgraciadamente, el Li-polímero seco permite el intercambio de iones pero tiene una conducción eléctrica muy pobre, debido a que su resistencia interior es demasiado alta y no puede entregar los niveles de corriente necesarios para los dispositivos de comunicación modernos y para las unidades de disco duro de computadoras portátiles. Su conductividad eléctrica aumenta con la temperatura (a 40° C tiene conductividad aceptable).

Algunos Li-polímeros se usan para las baterías de reserva en los climas calientes y algunos fabricantes han agregado elementos caloríficos para mantener a la batería en un rango de temperatura que permita buena conductividad eléctrica en todo momento.

Para hacer una batería del Li-polímero de alta conductividad, se ha agregado un electrolito gélido. La mayoría de las baterías del Li-polímero comerciales usadas hoy para

los teléfonos móviles es un híbrido y contienen un electrolito gélido. El término correcto para este sistema es “Litio Ion Polímero (Li-ion polímero)”.

Las características y actuación de los sistemas de Li-ion y Li-ion polímero son muy similares. El Li-ion polímero únicamente usa un electrólito sólido reemplazando el separador poroso. El electrolito gélido se agrega para reforzar la conductibilidad del ion simplemente.

Las dificultades técnicas en la fabricación en volumen detuvieron la introducción de la batería de Li-ion polímero. Aunque algunos críticos aseguran que es debido a que es más costosa que la batería del Li-ion. Además, la superioridad prometida del polímero del Li-ion no se ha demostrado todavía.

Algunas ventajas y desventajas de la batería de Li-ion polímero son mencionadas a continuación:

Ventajas:

1. Su geometría es muy delgada. Algunas tiene la geometría igual a una tarjeta de crédito.
2. Densidad de energía alta.
3. El peso es ligero. El electrolito gélido en lugar de electrolito líquido simplifican el empaquetado.
4. Una mejora en la seguridad.
5. No requieren descargas totales periódicas.
6. En pequeñas cantidades son inocuas para el medio ambiente.

Desventajas:

1. Aunque su densidad de energía es alta, es más baja que la de la batería de Li-ion.
2. Altos costos de fabricación.
3. Requieren todavía de circuitos de protección.

Su principal aplicación son los teléfonos móviles.

4.1.6 Batería alcalina recargable

La idea de recargar las baterías alcalinas no es nueva. El número de recargas depende solamente de la profundidad de descarga, con cada recarga, va perdiendo capacidad.

La longevidad de la batería alcalina recargable es una función directa de la profundidad de descarga; mientras más profunda sea la descarga son menos los ciclos que la batería puede soportar.

Una limitación adicional de la batería alcalina recargable son sus limitaciones de carga, se requiere de una carga de aproximadamente 400mA (si la carga es menor de 400mA proporcionan mejores resultados). Por lo tanto, es adecuada para radios portátiles de AM/FM, reproductores de CD y linternas eléctricas, 400mA son insuficientes para algunos teléfonos móviles y cámaras de video.

La batería alcalina recargable es barata, pero más costosa comparada con la batería de NiCd. Para muchos el costo es aparentemente alto pero más económico que la batería alcalina no recargable.

Algunas ventajas y desventajas de la batería alcalina recargable son mencionadas a continuación:

Ventajas:

1. Barata y disponible fácilmente. Puede usarse directamente como un replazo de las baterías alcalinas no recargables.
2. Auto-descarga baja. Puede guardarse por años sin usarse y no pierde capacidad.
3. Medioambientalmente amistoso.

Desventajas:

1. Limitante de corriente.
2. El ciclo de vida es limitado. Para aplicaciones de baja potencia.

Reemplaza las baterías de la casa disponibles, conveniente para aplicaciones de baja potencia. Su ciclo de vida limitada se compensa por su auto-descarga baja, haciendo a esta batería ideal para los dispositivos de entretenimiento portátiles tales como videojuegos, reproductores de música y linternas eléctricas.

La Tabla 4.1 muestra las características de las baterías recargables con diferente composición química. Donde se tomaron algunas de las siguientes consideraciones, [Buchmann 1997].

1. La resistencia interior de la batería varía con las características de las celdas, el tipo del circuito de protección y número de celdas. El circuito de protección de Li-ion y Li-polímero tiene un consumo de aproximadamente 100mW.
2. El ciclo de vida está basado en el mantenimiento regular. Si no se aplican descargas totales a la batería pueden reducir la vida del ciclo.
3. La auto-descarga es mayor a temperaturas altas.
4. Los circuitos de protecciones interiores consumen aproximadamente el 3% de la energía almacenada.

La Tabla 4.1 es de gran utilidad al describir las características de cada batería, pues con ellas el usuario puede elegir mejor el tipo de batería que mejor se adecúe a sus necesidades y uso que se le va a dar. Una característica importante que no se menciona es la de los ampere-hora que proporciona de acuerdo a su densidad de energía (Ah/kg), debido a que esto depende del voltaje nominal de cada batería, lo cual a su vez depende del número de celdas y del voltaje de cada una, si se conoce este dato es fácil calcular sus Ah/kg, ya que es el cociente de su densidad de energía (Wh/kg) entre el voltaje nominal (volts).

En la mayoría de las plantas de FEED se cuenta con bancos de baterías, ya sea para usarlas como respaldo de potencia o como medio de excitación para los generadores. Se puede esperar que en las FAE su uso es aún mayor gracias a que es un elemento muy importante en los sistemas autónomos y que por ejemplo en los SSF son los más utilizados

para regiones alejadas a la red o para sistemas de monitoreo. Lo anterior indica que las baterías son un dispositivo que se está reemplazando continuamente lo que representa desechos tóxicos.

Tabla 4.1 Características de baterías recargables normalmente usadas

	NiCd	NiMH	Ácido de Plomo	Li-ion	Li-ion polímero	Alcalina Recargable
Densidad de Energía (Wh/kg)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130	80 (inicial)
Resistencia Interna (mW)	100-200 para 6V.	200-300 para 6V.	<100 para 12V.	150-250 para 7.2V	200-300 para 7.2 V	200-2000 para 6V
Ciclo de Vida (al 80% de su capacidad inicial)	1500	300-500	200-300	500-1000	300-500	50 (para 50%)
Tiempo de Carga	1h. Típicamente	2-4h.	8-16h.	2-4h.	2-4h.	2-3h.
Tolerancia a la sobrecarga.	moderada	baja	alta	muy baja	baja	moderada
Auto-Descarga /mes (temp. ambiente)	20%	30%	5%	10%	10%	0.30%
Voltaje de cada celda (nominal)	1.25V	1.25V	2V	3.6V	3.6V	1.5V
Temperatura de operación	-40 a 60°C	-20 a 60°C	-20 a 60°C	-20 a 60°C	0 a 60°C	0 a 60°C
Descarga total requerida (mantenimiento)	entre cada 30 a 60 días	entre cada 60 a 90 días	entre cada 3 a 6 meses	no requerida	no requerida	no requerida
Costo típico de la batería (dólares)	\$50 (7.2V)	\$60 (7.2V)	\$25 (6V)	\$100 (7.2V)	\$100 (7.2V)	\$5 (9V)
Usada comercialmente desde	1950	1990	1970	1991	1999	1992

4.2 Impacto ambiental de las baterías

Se sabe que varios componentes usados en la fabricación de baterías son tóxicos y por tanto la contaminación ambiental y los riesgos de afectar la salud y los ecosistemas dependen de la forma, lugar y volumen en que se han dispuesto o tratado este tipo de residuos.

Debido al uso común de aparatos inalámbricos y demás, las baterías son usadas y desechadas con mucha frecuencia, lo cual implica que se ocasionen graves problemas de contaminación ambiental y daños a la salud. Se estima que aproximadamente el 47% de Zinc, 48% de Cadmio y 22% de Níquel de la basura doméstica es proveniente del desecho de baterías [Ornelas 2007]. Además de los grandes problemas que existen con el plomo.

Según los médicos el respirar cadmio puede producir lesiones en los pulmones y cuando se ingiere éste, se acumula en los riñones, provocando fallas en su funcionamiento. El estar expuesto al Níquel produce reacciones alérgicas. Desgraciadamente la mayoría de las baterías más comunes contienen materiales tóxicos, representando un problema ambiental.

La Tabla 4.2 muestra la composición química de las baterías más comunes [INE 2004], donde podemos observar que debido a la cotidianidad en que se utilizan todos los artículos que necesitan de este tipo de baterías, no es ninguna sorpresa el hecho de que si los residuos de éstas no son tratados adecuadamente, puede resultar un serio problema de salud.

Tabla 4.2 Composición química de los diferentes tipos de baterías

Tipo de Batería	Componentes	Usos
Níquel Cadmio (NiCd)	Cd 18%; Ni 20%; Hidróxido de Potasio o de Sodio	Juguetes, lámparas, artículos electrónicos, equipo electrónico portátil
Níquel Metal Hídrico (NiMH)	Ni 25% Hidróxido de Potasio	Productos electrónicos portátiles
Litio-ion (Li-ion)	Óxido de litio-cobalto (cátodo). Carbón altamente cristalizado (ánodo). Solvente orgánico (electrolito)	Telefonía celular, computadoras, cámaras fotográficas y de video
Ácido de Plomo	Plomo ácido sulfúrico	Uso automotriz, industrial y doméstico.

Se estima que en México se desechan aproximadamente 35,500 toneladas provenientes de pilas y baterías. La mayoría utilizadas en aparatos electrodomésticos como aspiradoras, herramientas, cámaras de video, computadoras y teléfonos portátiles. Una estimación del uso y contaminantes son mostrados en las Tablas 4.3 a 4.5 [INE 2004].

Tabla 4.3 Estimación del consumo y contaminación de las baterías usadas en teléfonos celulares (Toneladas).

Año	Número de usuarios	Incremento anual de usuarios	Tipo de batería	Peso prom. (Kg)	Ton.	Contenido de Cd (18%)	Ni (20% en Ni-Cd; 25% en NiMH)	Contenido con Li (25%)
1995	688,513	688,513	NiCd	0.14	96.39	17	19	-
1996	1,021,900	333,387	NiCd	0.13	43.34	8	9	-
1997	1,746,972	725,072	NiCd	0.12	87.01	16	17	-
1998	3,349,475	1,602,503	NiCd	0.1	160.25	29	32	-
1999	7,731,635	4,382,160	NiCd	0.09	394.39	71	79	-
2000	14,073,741	6,342,106	50% NiCd	0.08	253.68	46	51	-
			50% NiMH	0.09	285.39	-	71	-
2001	21,757,090	7,683,349	50% NiCd	0.07	268.92	48	54	-
			25% NiMH	0.085	163.27	-	41	-
			25% Li-ion	0.06	115.25	-	-	29
2002	25,928,263	4,171,173	30% NiCd	0.07	87.59	16	18	-
			40% NiMH	0.045	75.08	-	19	-
			30% Li-ion	0.04	50.05	-	-	13
Mayo 2003	27,164,729	1,236,466	15% NiCd	0.07	12.98	2	3	-
			50% NiMH	0.045	27.82	-	7	-
			35% Li-ion	0.035	15.15	-	-	4
Totales	-	27,164,729	-	-	2,136.5	253	419	46

Tabla 4.4 Consumo de baterías de Ni-Cd en 1997 (Toneladas)

Tipos de batería recargable	Baterías de importación legal	Peso en Kg	Estimación toneladas/año
Las importadas con fracción arancelaria: 85.06.80	77,285,016	0.10	7,729
Las importadas con fracción arancelaria: 85.07.30	127,378	0.30	38
Celulares	1,746,972	0.15	262
Radios intercomunicadores de dos vías	100,000	0.10	11
Teléfonos inalámbricos	5,000,000	0.045	225
Total	84,259,366		8,265

Tabla 4.5 Estimación del consumo de pilas y baterías por periodo (Piezas)

Periodo	Promedio habitantes	Consumo pilas legales / habitante	Consumo de pilas ilegales / habitante	Estimación del consumo 1960-2002 (millones de piezas)
60 – 69	40,814,636	0.47	desconocido	191.83
70 – 79	56,650,315	1.3	desconocido	736.45
80 – 89	73,235,743	2.7	1.5	3,076
90 – 99	88,416,065	5.11	4.89	8,842
2000 – 2002	98,651,275	5.7	4.3	2,960
Total	-	-	-	15,805

A partir de la información existente, para la década de los 90 en que se estima un consumo promedio de 10 pilas por habitante (5.11 pilas de origen legal y 4.89 de origen ilegal), y con una estimación hacia el año 2002 es posible mostrar la generación de sustancias contaminantes hasta este año, Tabla 4.6, [INE 2004]. Cabe mencionar que en las décadas de los 60's a los 70's no se ha considerado el consumo de origen ilegal.

Los componentes tóxicos de las baterías, desechadas en los últimos años pueden estar en los tejidos de los organismos que integran diferentes ecosistemas, incluido el organismo humano, por lo que es necesario investigar e informar a la población

potencialmente expuesta al riesgo, para intentar contrarrestar los impactos ambientales y para la salud. No obstante, desgraciadamente es imposible saber con exactitud la localización de esta población, debido a, que el ámbito geográfico donde se depositan los desechos de baterías es muy amplio, así como la distribución temporal y poblacional.

Tabla 4.6. Estimación de contaminantes generados en las últimas 4 décadas (Ton.)

Periodo	Generación	Hg	Cd	Ni	Dióxido de Manganeso	Compuestos con Li
60 – 69	7,715	77	3	0	1,929	0
70 – 79	29,619	296	11.8	0	7,405	0
80 – 89	123,709	619	0	0	30,927	0
90 – 99	355,600	180	15,100	16,530	79,160	13.4
00 – 02	119,029	60	5,054	5,533	26,497	63.9
Total de pilas y baterías	635,673	-	-	-	-	-
Total de contaminantes		1,232	20,169	22,063	145,918	77

La contaminación es debida al mal manejo de las baterías de desecho, ya que son tiradas en cualquier basurero, y éstas con el tiempo se oxidan provocando daños a la envoltura, permitiendo con ello la liberación de sus componentes tóxicos al ambiente. Además de los incendios no controlados en varios basureros, que traen consigo contaminantes en el aire.

El impacto de algunas sustancias tóxicas provenientes de las baterías de desecho, es descrito a continuación [INE 2004].

4.2.1 Impacto del cadmio.

Generalmente las baterías de NiCd cuentan con un recubrimiento fuerte de plástico que durante varios años puede impedir la liberación de los metales tóxicos, sin embargo los incendios en basureros o la quema de baterías es un riesgo importante para que el Cd y el Ni sean liberados al ambiente.

La exposición al cadmio ocurre principalmente al respirar aire contaminado en el ambiente laboral (fábrica de baterías, soldadura de metales). Otra vía importante es la

ingesta de agua contaminada y de alimentos que contienen cadmio; casi todo alimento tiene cadmio en bajos niveles (los niveles más altos se encuentran en mariscos, hígado y riñones) también fumar duplica los niveles de cadmio en el organismo.

En el nivel doméstico las baterías usadas en los teléfonos inalámbricos son una fuente importante de Cd debido a que algunas de estas tienen una envoltura relativamente frágil.

Según el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS por sus siglas en inglés) de los EUA y la Agencia Internacional para la investigación sobre el Cáncer (IARC por sus siglas en inglés) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Cd es una sustancia que puede provocar cáncer y al respirar cadmio en altas dosis produce graves lesiones en los pulmones y generalmente se acumula en los riñones. Cuando se expone un individuo a altas dosis esto puede causar la muerte. Las intoxicaciones agudas a consecuencia de ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy elevados producen seria irritación en el estómago e inducen vómitos y diarrea.

En exposiciones crónicas con bajos niveles de este metal pueden producir enfermedades renales. Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición de larga duración. En animales de laboratorio a los que se les dio cadmio en la comida o en el agua se observó aumento de la presión sanguínea, déficit de hierro en la sangre, 17 enfermedades en el hígado y lesiones en los nervios y el cerebro.

El cadmio entra al agua y al suelo de vertederos y de derrames o escapes en sitios de los desechos peligrosos. Se adhiere fuertemente a partículas en la tierra. Parte del cadmio se disuelve en el agua. No se degrada en el medio ambiente, pero puede cambiar de forma. Las plantas, peces y otros animales asimilan cadmio del medio ambiente. El cadmio permanece en el organismo por largo tiempo y puede acumularse después de años de exposición a bajos niveles.

La Agencia de Protección Ambiental de EUA (EPA por sus siglas en inglés) ha establecido un límite de 5 partes de cadmio por cada billón de partes de agua potable (5 ppb). La EPA no permite la presencia de cadmio en insecticidas. La Administración de Alimentos y Drogas (FDA por sus siglas en inglés) restringe la cantidad de cadmio en colorantes para alimentos a 15 partes de cadmio por cada millón de partes de colorante (15 ppm).

4.2.2. Impacto del níquel

Las aportaciones de níquel al ambiente en México, corresponden al uso de baterías de las tecnologías de NiCd y NiMH que aparecieron en el mercado a finales de la década de los 90's; se estima que, hasta el año 2002, han sido liberadas alrededor de 22,063 toneladas de este metal.

La ingesta de alimentos o agua contaminados con níquel, representa la fuente de exposición más importante para la mayoría de la gente. Por la exposición se puede dar a través del contacto de la piel con elementos u objetos que contienen níquel, como monedas, joyas y otras partes metálicas.

El efecto adverso más común de exposición al níquel en seres humanos es una reacción alérgica, presentando un salpullido en el área de contacto. El salpullido también puede aparecer en un área lejos del sitio de contacto. Con menor frecuencia, algunas personas que son sensibles al níquel sufren ataques de asma luego de exposición al níquel.

La exposición al Ni por periodos de tiempo largos como las personas que trabajan en refinerías de níquel o plantas que procesan níquel han experimentado bronquitis crónica y alteraciones del pulmón, efectos adversos en la sangre y los riñones y un aumento de cáncer de pulmón. El DHHS, la IARC y la EPA han establecido que el níquel puede ser una sustancia carcinogénica en seres humanos.

El Níquel es liberado a la atmósfera por industrias manufactureras que lo utilizan, sus aleaciones o compuestos. También es liberado a la atmósfera por plantas que queman

petróleo o carbón, y por incineradores de basura. En el aire, se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas por el aire, por la lluvia o por la nieve.

La EPA recomienda que el agua potable contenga no más de 0.7 miligramos de níquel por litro de agua (0.7 mg/L). Para proteger a los trabajadores, la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite de 1 miligramo de níquel por metro cúbico de aire (1 mg/m³) para níquel metálico y compuestos de níquel en el aire del trabajo, durante jornadas de 8 horas diarias, 40 horas a la semana.

4.2.3 Impacto del litio

Se estima que en México, desde principios de la década de los 90 a la fecha, se han emitido aproximadamente unas 77 toneladas de este elemento, por el uso y desecho de baterías; considerando que la tecnología de baterías de Li-ion es la más eficiente en el mercado, se espera un aumento relativamente alto de este elemento y sus compuestos en el ambiente (en caso de no iniciar programas de recolección y reciclaje).

La población en general puede exponerse al litio respirando aire contaminado, bebiendo agua o ingiriendo alimentos que contengan este elemento. En ambientes ocupacionales como la minería, fundición, talleres de soldadura, la exposición puede darse por contacto directo con la piel.

Intoxicaciones agudas de litio presentan síntomas como: fallas respiratorias, depresión del miocardio, edema pulmonar y estupor profundo. Dado que el litio es usado también en medicamentos, se ha encontrado ser de alta toxicidad cuando se ha administrado erróneamente o usado en casos de suicidio, situaciones en que ha afectado seriamente el sistema nervioso, provocando anorexia, náusea, movimientos involuntarios musculares, apatía, confusión mental, visión borrosa, temblores, estado de coma y muerte.

Experimentos en ratas, han sugerido que los compuestos de litio en combinación con compuestos de manganeso, pueden incrementar la toxicidad en caso de inhalación, por

lo que el mal manejo de baterías de Li-ion puede representar un riesgo, ya que contienen ambos elementos.

Existen evidencias que el litio se ha encontrado en pequeñas cantidades en diferentes especies de peces. El litio no es volátil y por lo tanto, él y sus compuestos se encuentran en el aire en forma de partículas que puede regresar a la superficie a través de deposición húmeda o seca, el litio no se encuentra de manera natural en el aire.

4.2.4 Impacto del plomo

Este metal se encuentra sobre todo en las baterías utilizadas en los automóviles y de uso industrial y doméstico. En México, el promedio de reciclado de las baterías automotrices es de aproximadamente 95%, sin embargo, se desconoce el impacto ambiental de este proceso de reciclado que va desde la recolección, desmantelamiento de las baterías y emisiones al aire por fundición del plomo. Otro riesgo importante para la salud y el ambiente, lo representa el uso de baterías para respaldar corriente en computadoras, cuyo mercado es relativamente nuevo y ascendente ya que no existen programas de recolección debidamente establecidos, lo cual posibilita que se maneje este tipo de baterías sin las debidas precauciones.

En humanos, la exposición a este metal ocurre en gran parte por medio de ingestión o inhalación, ya sea comiendo alimentos o tomando agua contaminados con plomo.

Los efectos negativos para la salud humana son, entre otros, funcionamiento deficiente o daños al cerebro, riñones, médula espinal y otros sistemas. Según la clasificación de la IARC, el plomo es una sustancia del Grupo 2B, o sea posible cancerígeno en humanos. Este metal y sus compuestos también pueden dañar el funcionamiento del aparato reproductivo, y la exposición a altas concentraciones de plomo puede ocasionar coma, convulsiones e incluso la muerte. Los niños son especialmente vulnerables a los efectos tóxicos del plomo.

El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del organismo. El más sensible es el sistema nervioso. Los efectos son los mismos ya sea al respirar o ingerir plomo. En altos niveles, puede causar debilitamiento de los dedos, muñecas, o tobillos y posiblemente afectar la memoria. El plomo puede producir anemia, un trastorno de la sangre.

Es un grave contaminante del ambiente porque es tóxico, persistente y puede ser acumulado por los tejidos biológicos y almacenarse en ellos. Además, puede ser ingerido al cuerpo, al estar en alimentos proveniente de suelos contaminados, en el agua y las plantas. El Pb no se degrada, sin embargo compuestos de plomo son transformados por la luz solar, el aire y el agua. Cuando se libera al aire, puede ser transportado largas distancias antes de sedimentarse en el suelo. Una vez que cae en la tierra, generalmente se adhiere a partículas en el suelo.

La EPA mantiene que como promedio en un período de 3 meses la cantidad de plomo en el aire no sobrepase 1.5 microgramos por cada metro cúbico de aire (1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La EPA limita la cantidad de plomo en agua potable a 15 μg por litro.

La OSHA establece reglamentos para trabajadores expuestos a plomo. Las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio de 1990 prohibieron la venta de gasolina con plomo. La Ley Federal de Sustancias Peligrosas prohíbe productos para niños que contengan cantidades de plomo peligrosas.

Por estas causas, en México se han dispuesto una serie de normas para el uso de estas sustancias en la fabricación de baterías, debido a los desechos tóxicos que éstas representan, Tabla 4.7, [INE 2004]. Desgraciadamente aun existiendo toda esta normatividad no ha habido un seguimiento adecuado para verificar el cumplimiento de tales normas.

Tabla 4.7 Normatividad en México relativa a algunos compuestos tóxicos de baterías

CLAVE DE LA NORMA	DESCRIPCIÓN	SUSTANCIAS
NOM-001-ECOL-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	Mercurio, Cadmio, Níquel, Plomo y Zinc, entre otras.
NOM-002-ECOL-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.	Mercurio, Cadmio, Níquel, Plomo y Zinc, entre otras.
NOM-052-ECOL-1993	Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.	Mercurio, Cadmio, Níquel, Plomo y Zinc, entre otras.
NOM-026-SSA1-1993	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el ambiente como medida de protección a la salud de la población.	Plomo
NOM-127-SSA1-1994	Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.	Mercurio, Cadmio, Plomo, Zinc y Manganeso entre otras.
NOM-145-SSA1-1995	Productos cárnicos troceados y curados. Productos cárnicos curados y madurados. Disposiciones y especificaciones sanitarias	Plomo
NOM-199-SSA1-2000	Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente.	Plomo
NOM-201-SSA1-2002	Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias	Cadmio, Níquel y Plomo, entre otras.

Lamentablemente, desde que se propagó el uso de baterías en México; a partir de los inicios de la década de los 60's, éstas se han desechado en forma inapropiada, en el mejor de los casos van a dar a tiraderos municipales que cumplen con las especificaciones técnicas. A partir de 1988 con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y de su "Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos", así como con la publicación de la norma oficial NOM-052-ECOL-1993, "Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente", teóricamente, este tipo de residuos solo se pueden disponer en sitios cuyas características cumplan con la normatividad, o ser tratadas y transportadas por empresas particulares, autorizadas de acuerdo con la norma mencionada; en la práctica la disposición final, correcta en términos legales, únicamente puede hacerse en una empresa ubicada en Monterrey; en cuanto a los

transporte y tratamiento, en la página de Semarnat existe una lista de empresas autorizadas para ofrecer tales servicios. Lamentablemente el marco legal ha sido demasiado rígido para propiciar un manejo adecuado de pilas y baterías, que finalmente ocasiona que el ciudadano preocupado por el destino de estos residuos, termine pensando que es más fácil desecharlas en cualquier lugar o en el mejor de los casos en la basura.

Varios proveedores de baterías no dan mención acerca de lo que hacen con las baterías de desecho, por ejemplo en la página principal de LTH (www.lth.com.mx), que es uno de los principales proveedores de baterías en México, no hay ningún espacio dedicado al reciclaje ni algún tipo de información sobre lo que se debe hacer con una batería de desecho.

Si en realidad se desea establecer las FAE como una opción para cambiar el sistema energético actual, es necesario observar todos los inconvenientes que éstas presentan para poder atenderlos y buscar la manera de solucionarlos. Uno de estos inconvenientes son como ya se ha mencionado, los desechos tóxicos de las baterías, porque desgraciadamente todavía siendo las baterías de ácido de plomo las más contaminantes y dañinas, son las más utilizadas debido a su bajo costo, porque si un SSF, un SE, un VE o un VH son un poco más costosos que los sistemas a base de combustibles fósiles, es comprensible que el usuario trate de reducir costos en la batería y más aún si no se le da la información adecuada sobre los efectos adversos de éstas para mejorar su elección.

Capítulo 5

Fuentes Alternas de Energía y la contaminación ambiental

En los capítulos anteriores se mencionó la importancia de las FAE como son los sistemas solares fotovoltaicos y los sistemas eólicos, como una alternativa para reducir la contaminación ambiental por el uso de combustibles fósiles, además de mencionar los componentes de estas FAE, donde se mencionaron las baterías. En el Capítulo 4, se mostraron las características de las baterías comerciales y el impacto ecológico de éstas.

Actualmente en México el uso de los SSF para la generación de energía eléctrica es solo en zonas donde no es posible conectarse con la red eléctrica nacional y es supervisada solo por el municipio en donde se encuentra tal sistema. Por otro lado, los sistemas eoloeléctricos están siendo utilizados por CFE en plantas conectadas a la red y para electrificación rural.

Los sistemas eoloeléctricos que están conectados a la red como es la Venta I y la Venta II, son sistemas en los que las baterías solo son utilizadas para alimentar equipos de control en caso de alguna falla (como en todas las FEEC), ya que en dichos sistemas, la electricidad generada es suministrada a la red inmediatamente sin ser almacenada.

Según datos proporcionados por el departamento de Ingeniería Básica de Energía Renovable de CFE, División Centro Occidente [Sánchez 2007], la mayor parte de las baterías utilizadas en los SSF, los SE y los sistemas híbridos de electrificación rural, son baterías de ácido de plomo y desgraciadamente requieren cambio o mantenimiento frecuente, debido a, que el fabricante garantiza su buen uso solo para aproximadamente 5 años. En caso de que sea necesario reemplazar una batería, la batería desechada es devuelta al proveedor, el cual se encarga del reciclaje o manejo de los residuos de la misma.

Teniendo como base el hecho de que en la mayoría de las centrales de FAE o incluso en las FEEC, se tiene bancos de baterías que en la mayoría de los casos son baterías de ácido de plomo [Sánchez 2007], se basará el estudio de contaminación ambiental por el uso de baterías en las centrales de generación eléctrica, en los efectos de este tipo de baterías.

La principal razón por la que estas baterías son tan populares es gracias a que su costo es muy bajo, además de ser de las más durables y que proporcionan un servicio confiable.

La batería de ácido de plomo realiza reacciones de oxidación de plomo metálico a sulfato de plomo (ánodo) y la reducción de óxido de plomo a sulfato de plomo (cátodo), utilizando como electrolito un conductor iónico.

Las placas positivas son láminas de plomo metálico y las placas negativas son rejillas de plomo metálico recubiertas por una pasta de óxido de plomo. El voltaje de un par de placas de esta batería es de 2v. Si se conectan varios pares de placas en serie, el voltaje total del acumulador aumenta. Las placas se colocan consecutivamente y aisladas entre sí por separadores constituidos generalmente son fundas de polietileno y algunas de PVC. El contenedor o caja es generalmente de polipropileno y en algunos casos de ebonita (caucho endurecido). El electrolito, está constituido por ácido sulfúrico diluido.

Los acumuladores eléctricos utilizados en las centrales eléctricas son las baterías estacionarias (VRLA). Las baterías pueden tener pesos desde 0.5 Kg (como las de los

sistemas de respaldo de energía eléctrica) hasta 10.000 Kg (como son los grandes bancos de baterías estacionarias).

La composición en peso promedio de los componentes de una batería de plomo nueva y una batería agotada se mantiene. El agotamiento de la batería se produce debido a que las placas se contaminan cada vez más con sulfato de plomo durante la descarga. Esto tiene como consecuencia la inhibición de las reacciones químicas que ocurren en las placas de óxido de plomo, impidiendo una nueva recarga. De esta forma el acumulador queda agotado, transformándose en un residuo. En la Tabla 5.1 se presentan los porcentajes típicos de los componentes de una batería [Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos 2004].

El plomo reciclado proveniente de una batería de desecho es tratado químicamente si se desea recuperar todas sus propiedades en caso utilizarlo en otra batería. En caso de que se desee utilizarlo en algún otro proceso, esto quizás no sea necesario. Es por ello y por la pérdida de fuerza del ácido sulfúrico que las baterías restauradas tienen generalmente un tiempo de vida relativamente más bajo que una batería nueva, pero que aun así es importante utilizar estos desechos y no darlos como perdidos.

Tabla 5.1 Composición en peso de una batería nueva o usada de ácido de plomo

65-75% de Plomo (Pb, PbO ₂ , PbSO ₄)
15-25% Electrolito
5% Separadores de plástico
5% Caja de plástico

Debido a que la mayor parte de la batería es Pb, tal como lo muestra la Tabla 5.1, es necesario tener bastante cuidado con el manejo de las baterías desechadas.

Existen referencias que indican que las baterías pueden llegar a tener una vida útil menor a 48 meses, sin embargo en la práctica las baterías duran de 2 a 10 años dependiendo

del tipo y calidad de las baterías, así como del régimen de funcionamiento al que sean sometidas.

La presencia del plomo en el organismo humano es consecuencia de la contaminación a causa del manejo de los residuos, con efectos nocivos para la salud. La cantidad de plomo en el organismo se relaciona con los niveles de concentración del mismo en el ambiente. Los efectos en la salud se relacionan con la carga corporal de plomo y la forma más utilizada de medir esta última es determinando el nivel de plomo en sangre (plombemia).

En los seres humanos, el plomo principalmente afecta el sistema nervioso y las células sanguíneas, pudiendo provocar disminución del índice intelectual, trastornos en el aprendizaje y la conducta, problemas de audición y de lenguaje y anemia, entre otros. Los niños de 0 a 3 años son particularmente susceptibles a la toxicidad plúmbica debido a: sistema nervioso en desarrollo, menor masa corporal, mayor capacidad de absorción intestinal, menor tasa de eliminación, proximidad al suelo y tendencia a poner objetos y tierra en la boca. El plomo puede ser transferido fácilmente al feto en desarrollo vía placenta.

5.1 Afecciones a la salud humana debido a la exposición al plomo

Desgraciadamente en México todavía no se ha tomado con la seriedad que se debiera el problema de la exposición al plomo de la población. En otros países, tales como Uruguay y España, ya se están tomando medidas para reducir este problema, debido a la gran cantidad de casos de plombemia.

En Uruguay la exposición y los efectos de la contaminación por plomo en los trabajadores ha sido catalogada como una situación emergente ya que es algo sabido desde mucho tiempo atrás. En el año 2003 se realizó un estudio a una población de empleados de una fábrica de acumuladores eléctricos. Desde 1936 a la actualidad se reporta la vinculación de la exposición laboral al plomo y el desarrollo de enfermedad cardiovascular, especialmente hipertensión arterial y sus complicaciones. La hipertensión arterial ha sido

vinculada a la exposición crónica al plomo en múltiples estudios epidemiológicos desde 1935, y en la actualidad existe consenso en que la exposición acumulativa al plomo aumenta el riesgo de hipertensión [Laborde *et al.* 2006].

El Departamento de Toxicología de Uruguay registró 105 casos de exposición al plomo en adultos en el período comprendido entre enero de 1990 a junio de 2002. De estos casos, 75% tenían valores de plomo en sangre mayores a los aceptados a nivel nacional e internacional como admisibles (30 $\mu\text{g}\%$), y 40% de los trabajadores estudiados eran empleados en la fabricación de baterías [Facultad de Medicina, Hospital de Clínicas 2002]. El Banco de Seguros del Estado registró 11 casos de saturnismo (enfermedad que se produce por la intoxicación con una sal de plomo) en el periodo de 1993 a 1994 y 19 casos en el periodo de 1995 a 1996. Estudios de monitoreo biológico en trabajadores, realizados por la Cátedra de Toxicología de la Facultad de Química, reportaron también una población de trabajadores con exposiciones importantes a este metal [Uruguay, Banco de Seguros del Estado 1996]

Se analizaron dos medidas de plumbemia, una durante el período de actividad laboral y otra luego de suspendida la exposición. Se calculó el porcentaje de descenso entre el valor de plumbemia obtenido de la historia clínica y la plumbemia hallada luego de suspendida la exposición. El primer valor (plumbemia 1), corresponde a un período de plena actividad laboral y se realizó dos años antes del final de su período de actividad laboral. El valor de la plumbemia 2, corresponde a 12 ó 14 meses de haber finalizado la actividad en la fábrica.

Los niveles de plomo en sangre oscilaron entre 31.7 y 76.9 $\mu\text{g}/\text{dl}$, con un nivel promedio de 48.9 $\mu\text{g}/\text{dl}$, con una desviación estándar (DS) de 10.13, en el período laboral (plumbemia 1). El siguiente valor de plumbemia obtenido entre 12 y 14 meses luego de suspendida la exposición por cierre de una fábrica (plumbemia 2), presentó un rango de 12 a 54 $\mu\text{g}/\text{dl}$, con un promedio de 29.4 $\mu\text{g}/\text{dl}$, y una DS de 13.2. El porcentaje de descenso de la plumbemia, obtenido en 40 casos, mostró un promedio de 41.7, DS 14.0, con un grado de confianza del 95%. De los trabajadores (40 casos), 85% presentaron síntomas

vinculados a la exposición. Los síntomas relatados con mayor frecuencia fueron los mostrados en la Tabla 5.2 [Laborde *et al.* 2006].

Teniendo en cuenta que la vida media del plomo en la sangre es entre 25 y 30 días, estos resultados permitirían predecir que estos trabajadores poseen una elevada carga de plomo en su cuerpo, que mantienen aún los valores de plomo en sangre elevados por causas internas. Los efectos de plomo sobre la salud dependen de la magnitud y de la persistencia de los niveles en la sangre, dependientes a su vez del ingreso externo y la carga acumulada. De acuerdo con esto, es particularmente importante tener en cuenta que la asociación de síntomas con los valores de plomo en la sangre es en relación con su persistencia en el tiempo teniendo como referencia la Tabla 5.3 [Laborde *et al.* 2006].

Tabla 5.2 Distribución de los síntomas referidos en la población estudiada

Síntoma	Frecuencia Absoluta
Dolor en las articulaciones (Artralgias)	27
Dolor muscular (Mialgias)	22
Dolor de cabeza	21
Sensaciones anormales en la piel	20
Fatiga	17
Calambres musculares	14
Disminución de fuerzas	10
Pérdida de memoria	10
Disminución de la libido	8
Dolor abdominal	8
Anorexia	5
Náuseas y vómito	4
Constipación	2

Aunque las menciones de la Tabla 5.2 (Artralgias y Mialgias) son constantes en muchos de los trabajadores a los que se les aplicó el estudio, también es cierto que no es una prueba contundente de que sea todo debido al plomo, ya que para ello se necesitó investigar los antecedentes clínicos de cada trabajador, y con estos datos se comprobó una correlación, Tabla 5.3 [Hipkins y Kosnett 1999].

Tabla 5.3 Relación de los valores de plomo en sangre, su permanencia y los efectos tóxicos sistémicos

Plomo en la sangre.	Periodo	Síntomas
80-100µg %	Días o semanas	Neurológicos y gastrointestinales
60-80µg %	Meses	Hematológicos y renales
40-60µg %	Años	Inespecíficos (mialgias, artralgias) cardiovasculares (hipertensión arterial)

Las conclusiones a las que se llegaron en este estudio con los resultados anteriores fueron: Establecer que la población estudiada enfrentó condiciones de trabajo inseguras (niveles mayores a los aceptables) en forma prolongada (escaso descenso de los valores en sangre post-exposición). No se detectaron casos de saturnismo, pero sí afecciones donde el plomo es el causante. Se comprueba que la plumbemia no se correlaciona estrictamente con la clínica en la exposición crónica, manteniendo su valor como indicador de exposición. Teniendo en cuenta la importancia de la persistencia de valores elevados en sangre en el desarrollo de los efectos tóxicos, es posible plantear como hipótesis que los controles médico-laborales a los que fueron sometidos estos trabajadores, favorecieron medidas de organización del trabajo que limitaron la persistencia de valores elevados de plomo en sangre. Además se mencionó que el cese de la exposición de estos trabajadores no implica la ausencia de efectos clínicos a largo plazo debido a la persistencia de la carga de Pb.

Según un informe de la Facultad de Medicina del departamento de Toxicología en Uruguay, se demostró que de acuerdo a los niveles de plomo en la sangre, los riesgos a la salud aumentan, tal como lo demuestra la Figura 5.1 [Facultad de Medicina del hospital de clínicas, Uruguay 2002].

En este informe se destacaron las consecuencias del plomo principalmente en los niños, debido a que son los más vulnerables por la inmadurez de sus órganos, además de que la mayor parte de los infantes expuestos al ambiente contaminado con Pb son provenientes de una clase baja, por lo que se espera una mala alimentación.

Las consecuencias mencionadas son:

- Disminución del coeficiente intelectual entre 1 y 5 puntos (con 10µg % de Pb).
- Delincuencia, agresividad.
- Problemas de lenguaje y audición.
- Afecta al crecimiento (crecimiento más lento durante el primer mes de vida).

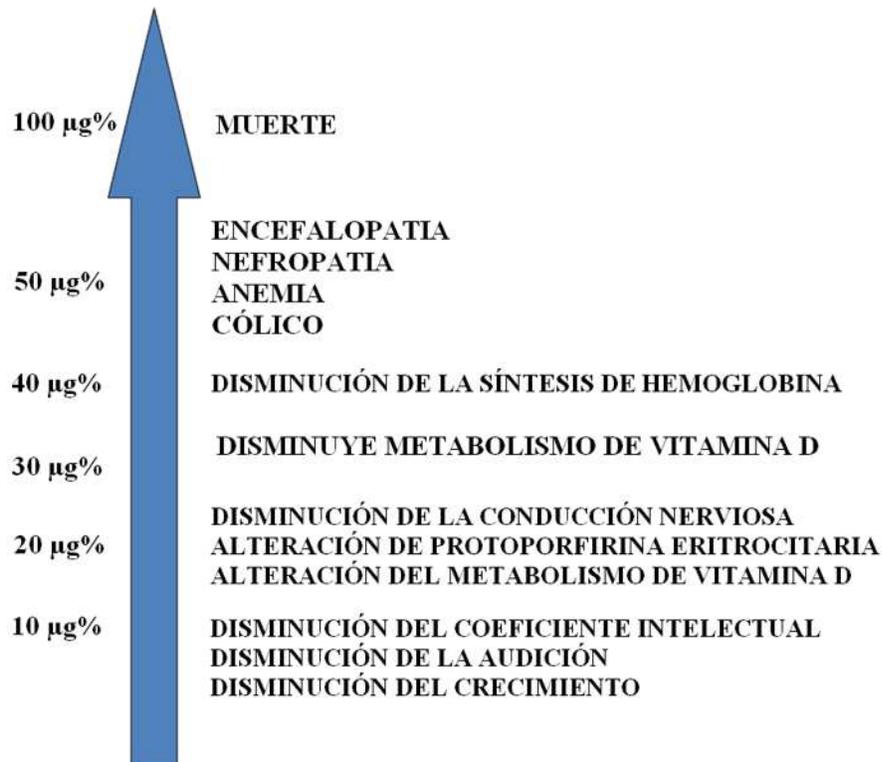


Figura 5.1 Riesgos a la salud debido a los niveles de Plomo en la sangre.

En México también se han reportado problemas de intoxicación por plomo, recientemente, hubo el caso del envenenamiento por metales pesados entre la población infantil de Torreón, Coahuila, en el Norte-Centro de México. Este problema había sido

estudiado y denunciado desde hace veinte años por diversas instituciones y grupos ambientalistas [Valdés y Cabrera 1999].

El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. El hecho de que se tenga como actor principal al Pb no es por que sea el más dañino a la salud, pero si es el más utilizado por el hombre en diferentes procesos, por lo que representa un problema mayor, aun teniendo en cuenta que existen más metales contaminantes.

El envenenamiento por metales pesados se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles, situada en el centro de la ciudad de Torreón. Esta empresa vende el Pb, como materia prima necesaria para los procesos para la fabricación y reciclaje de baterías. El envenenamiento por plomo no es un problema exclusivo de Torreón. En otros lugares puede presentarse la contaminación por plomo pero las fuentes emisoras pueden ser distintas, como en el caso reciente que afecta a los vecinos de la empresa Pigmentos y Óxidos S.A. en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León [Alanís 1999].

Se ha encontrado que una concentración de 7 $\mu\text{g}/\text{dl}$ causa daños irreversibles en el sistema neurológico de los infantes [Rosen 1992]. El plomo en la sangre de los niños puede provocar que un genio en potencia solo llegue a un nivel de aprovechamiento promedio o que un niño que hubiera tenido habilidades promedio quede discapacitado de por vida. Hay estudios que han relacionado una baja de 5.8 puntos en las pruebas de cociente intelectual (donde 100 sería la habilidad de la mayoría de los niños), por cada diez microgramos por decilitro en la sangre de un niño [Rosen 1992].

El límite máximo de $\mu\text{g}/\text{dl}$ permisible de plomo en la sangre de un niño según la Norma Oficial Mexicana promulgada en junio de 1999, es de 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$, sin embargo es importante resaltar que este nivel no es seguro ni es normal, ni es deseable. Las autoridades

médicas reconocen que no se ha identificado un umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo. La Academia Americana de Pediatría recomienda como nivel deseable de plomo en la sangre de los niños la cantidad de cero. Es importante recalcar que tampoco existe un nivel de plomo en sangre que pueda ser considerado normal.

Por otro lado, los efectos del plomo no son exclusivos en los humanos, pues también afecta la flora y la fauna, ocasionado principalmente la contaminación de los suelos.

5.2 Contaminación de los suelos debido a altas concentraciones de Pb

En el año 2003 se investigaron los niveles de Pb, Ni, Cd y Zn en los suelos cercanos a una planta de reciclaje de baterías ácidas en Madrid (España), donde se produjeron varias muertes de ganado equino con evidentes síntomas de intoxicación por Pb [Cala y Kunimine 2003]. En tal informe se demostró que los niveles de Pb en los suelos disminuían con la distancia a la planta (5906 a 171 mg de Pb por cada Kg de suelo y 11 a 1.58 mg de Cd por cada Kg de suelo) en muestras tomadas de 40 a 400m respecto a la planta.

Las plantas de reciclaje de baterías ácidas realizan operaciones tales como la ruptura la batería, drenaje del ácido, separación del metal y en algunos casos fundición del Pb recuperado [Small *et al* 1995]. Si este tipo de actividades no son hechas con el debido cuidado provocan el depósito de partículas de Pb provenientes de los residuos en los suelos y vegetación de los alrededores.

En Canadá se han determinado concentraciones de 51,000 mg de Pb por cada kg de suelo en zonas muy cercanas a una planta que maneja Pb y de 120 mg de Pb por cada kg de suelo a un kilómetro de distancia [Skinner y Salin 1995]. En Taiwán, de 1000 mg Pb/kg suelo a escasos metros de una planta del mismo rubro, hasta 100 mg de Pb por cada kg de suelo a 2 kilómetros de distancia [Yeh *et al.* 1996].

Es cierto que la distribución química del Pb en el suelo depende del pH del suelo, del contenido de la materia orgánica así como de la naturaleza de los compuestos de Pb

contaminantes [Ruby *et al* 1996], por lo que de acuerdo a las técnicas de extracción del Pb recuperado, puede representar o no un peligro para los suelos expuestos.

En la investigación hecha en Madrid, se tuvo como conclusión que las actividades mal desarrolladas por una planta de reciclaje de baterías ácidas provoca la contaminación por Pb y Cd en los suelos cercanos. Los contenidos de estos metales disminuyen paulatinamente con la distancia a la planta sugiriendo que la deposición de partículas, constituidas fundamentalmente por óxidos de Pb y Fe, es la causa principal de la contaminación de los suelos. Los resultados de este estudio ponen en manifiesto el peligro ambiental que puede representar el incorrecto control de los líquidos y emisiones de partículas contaminantes de las plantas de reciclaje de baterías ácidas de plomo [Cala y Kunimine 2003].

En Uruguay también se han presentado casos de intoxicación en niños debido a altos niveles de Pb, en los suelos de Montevideo. Esto surgió en el año 2000 con el envenenamiento por plomo de un niño con niveles de plomo en la sangre mayores a 15 µg/dl, aunque actualmente se han reportado muchos casos similares.

En el año 2001 el Laboratorio de Higiene Ambiental de Uruguay (LHA) comenzó el estudio del impacto en suelos ejercido por las industrias del rubro en metales. Se muestrearon fundiciones, metalúrgicas, fábricas de baterías y chatarrerías, entre otras, y sus entornos. También se consideraron industrias que no funcionan actualmente pero que por su actividad, pudieron haber sido potencialmente contaminantes. De un total de aproximadamente 85 empresas y entornos, se extrajeron 304 muestras de suelo, cuyos niveles oscilan desde tan bajos que no pudieron ser detectados por el equipo de análisis (espectrómetro de absorción atómica), hasta aquellas muestras que superan los cientos de gramos de plomo por kilo de suelo [Gobierno de Montevideo 2002].

Estas diferencias denotan:

- Distintas condiciones de trabajo de las industrias (emisiones al ambiente, ausencia de gestión de los residuos generados).

- Distancia del lugar de extracción de la muestra respecto a la industria (generalmente al aumentar la distancia disminuyen los niveles).
- Período de funcionamiento (tiempo que lleva funcionando en determinadas condiciones).

Hay que tener en cuenta que si una empresa dejó de funcionar, igualmente pueden encontrarse niveles elevados en el lugar donde estaba instalada y en sus alrededores. Esto se debe a que el plomo es un contaminante permanente que puede ser movilizado por efecto de la lluvia y escorrentías generadas por la misma.

Al detectarse condiciones inadecuadas de funcionamiento de una industria, o niveles elevados de plomo en suelo, se comunica al Departamento de Desarrollo Ambiental sugiriendo las medidas de mitigación necesarias. De allí se deriva para su conocimiento y la ejecución de las medidas, a las partes involucradas, al Centro Comunal Zonal correspondiente y a la Comisión Interinstitucional del Plomo.

En México en el caso de que se detecte una persona con niveles de plomo sanguíneo de 15 $\mu\text{g}/\text{dl}$ o más, persistentes, o de 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$ confirmados en sangre venosa, el paciente habrá de ser referido con el fin de que se investiguen las condiciones ambientales en las que se encuentra el afectado y se saneen. Es necesario informar al organismo de salud pública local y la atención deberá ser coordinada. Los organismos de salud pública mantendrán informado al médico acerca de los resultados de la investigación.

Una de las principales razones de contaminación por Pb es el mal manejo de los desechos de baterías así como los pocos cuidados y malos métodos de reciclaje, ya que en la actualidad existen muchos establecimientos que reciclan y recargan baterías de ácido de Pb, pero no existen los cuidados adecuados ni es con personas capacitadas y muchos de ellos no se dan cuenta del peligro al que están expuestos.

El uso de las FAE ha aumentado muchísimo así como su desarrollo, por lo que si de por sí el uso de baterías ya es algo común, es lógico predecir que con esto su uso aumentará

y con ello todos sus problemas de contaminación en caso de no ser tratado con la seriedad adecuada y el manejo correcto.

Hasta hoy el problema de los desechos de baterías y su mal manejo no ha sido del todo atendido siendo común ver en los tiraderos de basura “cascos” de baterías abandonados, y expuestos a pepenadores, perros callejeros e incluso niños. Una de las razones por las que todo esto se ha dado, es por la poca información dada a la ciudadanía expuesta, siendo ésta generalmente la menos informada del problema.

Por todas las razones anteriormente comentadas y todos los casos mostrados de contaminación del suelo e intoxicación por Pb, es necesario hacer conciencia y prestar la debida atención a este grave problema, que puede representarse como un asesino silencioso, tanto para los humanos como ecológicamente hablando.

5.3 Fabricación de acumuladores eléctricos Morelia

Incluso cuando los grandes emporios dedicados a la fabricación de acumuladores eléctricos como LTH están dejando un mercado muy pobre para los pequeños fabricantes, en la actualidad no obstante existen fábricas y talleres pequeños dedicados a la construcción y reconstrucción de acumuladores eléctricos, esencialmente acumuladores de ácido de Pb.

En Morelia existen pequeñas fábricas y talleres de este tipo además de múltiples centros de recolección de baterías usadas, por lo que se visitaron algunos de ellos para observar el proceso de fabricación y las condiciones en las que se recolectan. Esta tarea no fue sencilla, ya que los directivos de estas medianas y pequeñas empresas están un poco reacios a la demostración de sus procesos, pero aun así se encontraron dos talleres en lo que no se negaron al acceso, pero que por su petición no serán revelados los nombres de las empresas.

Se visitó un centro de recolección donde la respuesta de la encargada no fue del todo cordial, además de que se pudo observar que las condiciones de recolección no son

nada saludables, pues muchas de las baterías están en condiciones deplorables y expuestas al suelo y a toda persona.

El primer lugar donde se logró el acceso es un taller pequeño, el cual su principal actividad es la restauración y recarga de baterías usadas, además de la venta de baterías nuevas y de las baterías restauradas. Anteriormente también se fabricaban baterías, pero hoy en día la materia prima es muy costosa, y los grandes emporios han desplazado totalmente a las pequeñas empresas. El propietario de este taller comentó que los precios de las baterías usadas han aumentado en los últimos meses, pues antes, una batería de desecho ellos la compraban en hasta \$15.00, y actualmente con todos estos nuevos centros de recolección los precios han subido hasta \$75.00, y donde las baterías recolectadas van hacia el extranjero y al parecer estos centros no están regulados como se debiera, también comentó que su taller está regulado por la Semarnat y la PROFEPA, pero que sus visitas son algo esporádicas.

La mayoría de las baterías recolectadas en este taller son compradas a pepenadores, y al parecer algunas son baterías que incluso estuvieron enterradas en los basureros, pues muchas están enlodadas y con tierra en la mayor parte de la caja como se muestra en la Figura 5.2.



Figura 5.2 Cajas de las baterías recolectadas

La maquinaria que tiene este taller para la recarga y fabricación, es una maquinaria un poco antigua. Se compra el Plomo en barras y ellos cuentan con un pequeño horno para

la fundición de este metal Figura 5.3, ya fundido el Pb es vaciado a unos moldes, Figura 5.4, para hacer unas barras más delgadas y los conectores y de las placas, Figura 5.5.



Figura 5.3 Horno para la fundición de Pb

Como lo demuestra la Figura 5.3, las condiciones en la que se funde el Pb no es la correcta pues no existe ninguna precaución para el cuidado del manejo de este metal, además de que los desechos son tirados al suelo y expuestos sin ninguna restricción, Figura 5.6.



Figura 5.4 Moldes para la elaboración de las barras de Pb

En la Figura 5.4 se muestra los moldes para la elaboración de barras más delgadas las cuales se fundirán con soplete posteriormente, además de mostrar los lingotes de Pb, que son la materia prima comprada por lo fabricantes.



Figura 5.5 Moldes y el producto terminado de conectores y postes



Figura 5.6 Desechos de Pb fundido

La barras resultantes de los moldes son utilizadas para soldar los conectores y postes, el soldado es por medio de la fundición de este metal sobre los conectores y postes de las placas a fin de formar los grupos de las baterías, la fundición de estas barras es con la ayuda de un soplete y se hace manualmente, Figura 5.7, hasta formar los grupos que estarán dentro de la caja de batería, Figura 5.8.

Cuando se está fundiendo las barras de Pb, generalmente no se tiene ninguna protección, por lo que las emisiones de gases son aspiradas completamente por la persona que está haciendo el proceso, así como las personas que están a su alrededor.



Figura 5.7 Soldado de los conectores y postes de la batería



Figura 5.8 Grupos de la batería

Ya cuando se han formado los grupos, haberlos conectados en serie y puesto los postes para las terminales, se procede al sellado de la batería, el cual es con una resina proveniente de una máquina especial para después sellarla manualmente, Figura 5.9



Figura 5.9 Sellado de la batería.

El vaciado de ácido a la batería es también manualmente, aunque es importante mencionar que el manejo de éste debería de ser con sumo cuidado, ya que se está hablando de ácido sulfúrico; en la Figura 5.10 se observa que no es manejado adecuadamente, además de que tampoco es almacenado como se debiera, Figura 5.11. Del mismo modo se observó que no se cuenta con medidas y equipos de seguridad como son extintores, rutas de evacuación, etc.



Figura 5.10 Vaciado de ácido sulfúrico.



Figura 5.11 Ácido sulfúrico.

El último paso que requiere una batería para estar lista es la carga, proceso que dura aproximadamente 12 horas, éste es mostrado en la Figura 5.12, donde se exhibe que no

existen aditamentos de seguridad, además de mencionar que la temperatura ambiente en el lugar donde se hace la carga, son temperaturas algo elevadas por lo que el ácido sulfúrico dentro del acumulador está a temperatura muy altas, lo que produce riesgos de incendio.



Figura 5.12 Carga de baterías.

El almacenamiento de las baterías recolectadas no es correctamente, Figura 5.13, pues la Semarnat exige que las baterías no se encuentren en contacto con el suelo, sino que estén sobre tarimas o una plataforma, además de que el tiempo que las baterías que se encuentren en este lugar sea un periodo corto.



Figura 5.13 Almacenamiento de baterías recolectadas para su reciclaje.

En la Figura 5.13 también se ve que algunas de las baterías se encuentran en condiciones totalmente desfavorables, donde las placas y el Pb están expuestos totalmente, y en otras existen fugas de ácido el cual cae sobre el suelo.

El otro lugar donde se permitió el acceso fue en una fábrica un poco más grande, Figura 5.14, donde los procesos en realidad son muy similares a los ya expuestos. En este taller tienen un área de reciclado un poco más grande, pero se negó la posibilidad de tomar fotografías pues se sabe que no se encuentra en las condiciones reglamentarias, por lo que por temor a ciertas acciones legales que perjudiquen a su empresa se negaron a permitir tomar fotografías del área de reciclado.



Figura 5.14 Fábrica dedicada a la fabricación de acumuladores eléctricos.

Una de las máquinas con la que no contaba el otro taller es una trituradora, Figura 5.15, la cual tritura plástico para la elaboración de las cajas.



Figura 5.15 Trituradora de plástico.

En esta fábrica también se hacen las rejillas para las placas positivas y negativas en una máquina especial para ello, las cuales después son recubiertas de óxido de Pb y plomo metálico, Figura 5.16, para después ponerlas a secar y así poder utilizarlas.



Figura 5.16 Maquinaria para la fabricación de placas positivas y negativas.

Es cierto que la maquinaria es un poco más moderna que en el primer taller, pero no obstante el soldado de las terminales y postes también es a base de la fundición del Pb con un soplete de manera manual, Figura 5.17



Figura 5.17 Fundición de Pb para el soldado de los conectores y postes de las placas.

En este lugar la fundición de Pb tanto para el reciclaje como para la fabricación de las baterías nuevas es a cargo de una pequeña empresa dedicada a la fundición de Pb, pero que en este momento tal empresa se encuentra clausurada por la Semarnat debido a irregularidades en cuanto al manejo de este metal.

Otra diferencia es el modo de sellado de la batería, en esta fábrica el sellado es térmico, el cual es mucho más rápido y más seguro, para tal proceso se tiene una máquina que calienta la tapa y la coloca a presión sobre la caja, Figura 5.18, de tal manera que cuando la caja se enfría queda sellado como en una sola pieza.



Figura 5.18 Maquinaria para el sellado de la batería.

Como se lo muestran las imágenes aunque la maquinaria utilizada en la segunda fábrica es más moderna que la del primer taller, tienen en común varias irregularidades, como es la fundición del Pb con soplete sin ninguna precaución para la persona que está aspirando los gases emitidos, las baterías recolectadas para el reciclaje están expuestas al suelo aunque las normas de Semarnat mencionen lo contrario, además de que los desechos no son manejados como se debiera.

A pesar de que Semarnat tiene la obligación de estar realizando auditorias constantemente, éstas no han sido periódicas, pues se comentaba que la última vez que se realizó una visita fue hace aproximadamente 5 años, en la que levantó una multa a causa de lo anteriormente expuesto, pero que a la fecha no han regresado.

Capítulo 6

Conclusiones.

Actualmente las FAE (SSF y SE) se encuentran como los proyectos más ambiciosos para la generación de energía eléctrica, teniendo como objetivo cambiar el sistema actual de generación eléctrica por las energías renovables. Esto gracias a la gran preocupación ambiental, por los cambios climáticos tan severos que se están viviendo en este momento, además de mencionar la escasez de combustibles fósiles.

6.1 Conclusiones

Las siguientes conclusiones son arrojadas de la presente investigación:

- Es cierto que las FAE son una solución muy viable, pero también es cierto que éstas no serán la solución para todos los problemas actuales, ya que desgraciadamente tienen un costo elevado comparado con las FEEC, por lo que en países tercermundistas siguen siendo algo si no inalcanzable, si algo un poco difícil. Además de que aún así representan ciertos riesgos ecológicos.
- Algunos de los riesgos mencionados son la contaminación ambiental y las afecciones a la salud humana de los residuos de las baterías utilizadas en dichos

sistemas. Desgraciadamente en México aún no hay conciencia sobre los riesgos que las baterías representan, pues aún sabiendo que las baterías ácidas son de las baterías más peligrosas, son las más populares en las centrales de generación sin mencionar el hecho de que no hay plantas especializadas para el reciclaje de baterías y las que existen no son vigiladas para observar la calidad de sus procesos.

- Definitivamente las FAE, en efecto son una prometedora tecnología para la generación de electricidad, siempre y cuando se atiendan todos los detalles a su alrededor, y no pensar que ya se terminaron los problemas, pues si todo esto no se atiende, esto se convertirá en un círculo vicioso, en el que no sabemos cuanto tiempo el planeta esté dispuesto a soportar.
- En el caso de los vehículos eléctricos e híbridos, aunque ya están a la venta, sus precios no son del todo accesibles para toda la población y mucho menos en México, además de las personas que cuentan con los medios para obtener un vehículo de tecnología “limpia”, es muy difícil que renuncien a la sensación de poder que da un vehículo que puede alcanzar altas velocidades, ya que un VE o un VH son algo lentos.
- Una de las limitantes para el desarrollo de los VE y VH es el alto costo de fabricación, y los pocos resultados que éstos han dado, ya que muchos de los fabricantes han suspendido la fabricación de éstos, debido a la baja demanda del público.
- Mientras los magnates del petróleo sigan dominando la economía del planeta entero será difícil que se cambie todo el sistema energético, ya que no estarán dispuestos a ceder concesiones que afecten su economía.
- Aún cuando vivimos en un mundo con avances tecnológicos a la orden del día, en el ámbito de las baterías los avances no han sido muchos, o al menos no para satisfacer todas las demandas del mundo actual, por ejemplo en el caso de los sistemas de

energía renovables mencionados en este trabajo y en la industria, las baterías más utilizadas son las más dañinas para la salud humana y el ambiente. Las baterías de mejor tecnología no están disponibles para sistemas de mediana a gran potencia.

- Es importante mencionar también, la poca cultura del reciclaje de baterías en México, y en los pocos casos donde se hace (en su mayoría baterías de ácido de plomo), las condiciones en las que se lleva a cabo no son del todo favorables, ya que en su mayoría son establecimientos que no cuentan con la supervisión adecuada ni con el personal calificado, por lo que es de esperarse que no se cumplan con las normas oficiales establecidas para esto.
- Gracias a lo antepuesto, es importante estudiar a detalle las ventajas y desventajas o inconvenientes (como el de la contaminación de las baterías) de las FAE, para observar sus alcances y limitaciones y no caer en el error de convertirlas en la panacea de estos días.

6.2 Trabajos futuros

- Las celdas de combustible presentan un adelanto tecnológico, ya que pueden reducir el uso de combustibles, así como sus cualidades de protección ambiental.
- Las Baterías de biomasa son otra opción aprovechando los desechos de la población por lo que pueden ser sistemas con un gran futuro.
- Las pilas verdes o ecológicas que se alimentan a base de alcohol, aunque a la fecha los fabricantes solo están desarrollando baterías pequeñas como para teléfonos móviles, computadoras, consolas de video, etc.
- Almacenar energía eléctrica en capacitores e inductores es algo que no es nuevo pero que tampoco se ha utilizado mucho, debido a las grandes dimensiones de éstos, pero que puede representar un campo de estudio para buscar mejorar esta alternativa.

Referencias

[Alanís 1999]

José Ma. Alanís. “Demandarán a Pyosa, la SSA y Profepa por la contaminación con plomo en Monterrey”, Crónica de Hoy, 14 de julio de 1999.

[Buchmann 1997]

Isidor Buchmann, “Batteries in a portable world, handbook of rechargeable batteries”, Cadex Electronic Inc. 2th edition, 2005.

[Cala y Kunimine 2003]

V. Cala y Y. Kunimine. “Distribución de Plomo en suelos contaminados en el entorno de una planta de reciclaje de baterías ácidas”, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 19, no. 3, págs. 109-115, 2003

[CFE 2002]

CFE. “Programa de Obras e Inversiones del sector eléctrico 2003-2012”. México, 2007.

[El Universal 2005]

El Universal, “Autos híbridos, poco rentables”, 22 de septiembre de 2005, página 35.

[Facultad de Medicina, Hospital de Clínicas 2002]

Facultad de Medicina, Hospital de Clínicas. “Informe al Parlamento sobre intoxicación laboral por plomo”. Montevideo: Departamento de Toxicología, 2002.

[Facultad de Medicina del hospital de clínicas, Uruguay 2002].

Facultad de Medicina del hospital de clínicas, Uruguay. “Contaminación por Plomo”. Montevideo: Departamento de Toxicología, 2002.

[Gobierno de Montevideo 2002].

Gobierno de Montevideo. “Contaminación por plomo en es suelo”. Uruguay, 2002.
<http://www.montevideo.gob.uy>

[Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos 2004]

Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos 2004, fichas temáticas.
“Batería de Plomo-Ácido”. <http://www.idrc.ca>

[Hipkins y Kosnett 1999]

K. Hipkins, M. Kosnett. “Lead poisoning. In: Bowler R, Cone J. eds. Occupational medicine secrets”. Philadelphia, Hanley & Belfus, 1999.

[INE 2004]

INE (Instituto Nacional de Ecología). “Contaminación por pilas y baterías en México”. México, 2004.

[Instituto de edafología de Uruguay 2006]

Instituto de edafología de Uruguay. “Contaminación por metales pesados en el suelo”. Uruguay, 2006. <http://edafologia.urg.es>

[Laborde *et al.* 2006]

Dres. A. Laborde, S. de Ben, F. Tomasina., R. González-San Martín, M. Noel Tortorella, F. Sponton. “Estudio epidemiológico de una población expuesta

laboralmente a plomo”, Revista Médica de Uruguay 2006, vol. 22, no. 4, págs. 287-292, diciembre 2006.

[Loguini 2007]

Vera Loguini, “Vehiculos eléctricos enfrentan resistência dentro de la propia industria automovilistica” Asesoría de prensa Ateliê da Notícia, Brasil, www.ateliedanoticia.com.br

[Marck 2003]

J. Marck, “Whose car are greenest?”, The Magazine of the Union Concerned Scientist, vol. 2, no. 1, verano del 2003.

[Massachussets Institute Technology 2004]

Massachussets Institute Technology. “Cálculo de emisiones de contaminación atmosférica por uso de combustibles fósiles en el sector eléctrico mexicano”. México, 2004, <http://www.energia.gob.mx>

[Medellín 2003]

P. Medellín Milán, Diario San Luis, “Autos y Contaminación”, Sección ideas, 8 de marzo de 2003, pág. 4.

[Ornelas 2007]

Ornelas Asbel Saray, MUNDO TEC ESTUDIANTIL, “Contaminación por pilas y baterías, un riesgo para la salud”, 5 de marzo de 005, página 15.

[Ortega 2000]

M. Ortega Rodríguez, “Energías Renovables”, España, Paraninfo, 2000 .

[Patel 1999]

M. R. Patel, “Wind and solar power systems”, Washington D.C. EUA, CRC Press, 1999.

[Prange 2007]

S. Prange, "EV for sale. Finding & Buying Electric Vehicle", Home Power vol. 119, págs. 80-84, junio - julio 2007

[Programa de Energía Renovable en México 2004]

Programa de Energía Renovable en México. Página principal. 17 de marzo del 2007. <http://www.re.sandia.gob>.

[Rosen 1992].

John F. Rosen, "Health Effects of Lead at Low Exposure Levels", American Journal of Diseases of Children, vol. 146, pp. 1278-1281, April 1992.

[Ruby *et al* 1996]

M. V. Ruby, A. Davis, R. Schoof y C. M. Sellstone, "Estimation of lead and arsenic bioavailability using a physiologically based extraction test", Environment Science Technology, vol. 30, págs. 422-430, 1996.

[Sánchez 2007]

Sánchez, Carlos. Encargado del área de Ingeniería Básica de Energías Renovables, CFE, División Centro Occidente. Morelia, Michoacán. Entrevista realizada el 10 de junio de 2007.

[SENER 2002]

SENER. Página principal. México. 16 de marzo de 2007. <http://www.sener.org>

[SENER 2006]

SENER. Página principal. México. 16 de marzo de 2007. <http://www.sener.org>

[Sistema Nacional e-México, 2007]

e-México. Página principal. 15 de marzo 2007. <http://www.e-mexico.gob.mx>.

[Skinner y Salin 1995]

C. D. Skinner y E. D. Salin, "Determination of lead in soils surrounding a lead-acid battery manufacturer", *Can. J. Water Qual. Res.*, vol. 30, págs. 299-304, 1995.

[Small *et al* 1995].

M. J. Small, A. B. Nunn, B. L. Forslund y D. A. Daily, "Source attribution of elevated residential soil lead near a battery recycling site", *Environ. Sci. Technol.*, vol.29, págs. 883-895, 1995.

[Uruguay, Banco de Seguros del Estado 1996]

Uruguay, Banco de Seguros del Estado. "Análisis de siniestros no. 13 y no. 14". Uruguay, 1993-1994/1995-1996.

[Valdés y Cabrera 1999].

F. Valdés y V. Cabrera, "La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México", Texas Center for Policy Studies, sempiembre de 1999, <http://www.texascenter.org>

[Varona 2007]

David Varona, "Coches híbridos: ¿futuro real o moda pasajera?" www.motor.terra.es

[Yeh *et al.* 1996].

C. Y. Yeh, H. Y. Chiu, R. Y. Chen, K. H. Yeh, W. L. Jeng y B. C. Hang, "Monitoring lead pollution near a storage battery recycling plant in Taiwan, Republic de China", *Arch. Environment Contamination Toxicology*, vol. 30, págs. 227-234, 1996.

Anexo A

Tabla 1 Factores de emisión para la generación de electricidad en México.
(Combustóleo y Diesel)

Combustible	Tipo de combustión	Configuración de la caldera	CO ₂ ¹ tm ⁻³	Hg ² kg m ⁻³	NO _x kg m ⁻³	SO ₂ ³ kg m ⁻³
Combustóleo	Externa	Normal	3.04	1.35E-05	5.63	18.81*S%
	Externa	Tagencial	3.04	1.35E-05	3.63	18.81*S%
Diesel	Externa	Normal	2.66	1.35E-05	5.63	18.81*S%
	Externa	Tagencial	2.66	1.35E-05	3.63	18.81*S%
Diesel	Interna	Motor recíproco	2.66	1.35E-05	72.37	18.81*S%
Diesel	Interna	Turbina	2.61	2.00E-05	14.66	18.81*S%

Fuente: EPA, AP-42 (1998).

1. Sener (2003)
2. Factores de emisión de mercurio tomados de Acosta (2001).
3. S% indica porcentaje de azufre en el combustible respectivo, por peso.

Tabla 2 Factores de emisión para la generación de electricidad en México.
(Gas natural)

Combustible	Tipo de combustión	Configuración de la caldera	CO ₂ ¹ t/Mm ³	Hg ² kg/Mm ³	NO _x kg/Mm ³	SO ₂ ³ kg/Mm ³
Gas natural	Externa	>100MMBTU/Hr Normal	1.92	4.17E-03	4486.14	9.61
		<100MMBTU/Hr Normal	1.92	4.17E-03	1602.19	9.61

		Tangencial	1.92	4.17E-03	2723.73	9.61
Gas natural	Interna	Turbina	1.92	4.17E-03	5127.02	9.61

Fuente: EPA, AP-42 (1998).

1. Sener (2003)
2. Acosta (2001).

Tabla 3 Factores de emisión para centrales carboeléctricas en México

Combustible	Tipo de combustión	Configuración de la caldera	CO ₂ ¹ t t ⁻¹	Hg ² kg t ⁻¹	NO _x kg t ⁻¹	SO ₂ ³ kg t ⁻¹
Carbón bituminoso	Externa	Fondo húmedo, Pared	1.465402	8.30E-05	15.50	19*S%
Carbón pulverizado bituminoso	Externa	Fondo seco, pared	1.465402	8.30E-05	11.00	19*S%
Carbón pulverizado bituminoso	Externa	Fondo húmedo, tangencial	1.465402	8.30E-05	7.00	19*S%
Carbón pulverizado bituminoso	Externa	Fondo seco, tangencial	1.465402	8.30E-05	7.50	19*S%

Fuente: EPA, AP-42 (1998).

1. Sener (2003)
2. Acosta (2001).
3. S% porcentaje de azufre en el combustible por peso.