
ENERGÉTICOS Y LA SUPERVIVENCIA DE LA HUMANIDAD ÚLTIMA LLAMADA

*Jorge A. Montemayor Aldrete
Pablo Ugalde Vélez
Marcelo del Castillo Mussot
y
Fidel Cruz Peregrino*

Jorge A. Montemayor Aldrete
Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.

Pablo Ugalde Vélez
Universidad Autónoma Metropolitana, Plantel Azcapotzalco.

Marcelo del Castillo Mussot
Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.

Fidel Cruz Peregrino
Universidad Autónoma Metropolitana, Plantel Azcapotzalco.

©Jorge A. Montemayor Aldrete 2015

©Ediciones Mexicanos Unidos

www.mexicanosunidos.org.mx

Cuidado de la edición: Fidel Cruz Peregrino

Este libro no persigue ningún afán de lucro, y en el dudoso caso de que su distribución recaude alguna cantidad en efectivo, dicha cantidad será propiedad de la *World Wildlife Fund*. Este libro podrá ser reproducido total o parcialmente por todos los medios al alcance de cualquier ser humano, siempre que se cite la fuente original; de igual manera podrá ser traducido sin fines de lucro al idioma que se considere conveniente.

Impreso en México

Printed in México

Dedicatoria

Este libro está dedicado a: Bertrand Russell, Albert Einstein y a Robert H. Jackson (fiscal de USA ante el Tribunal Militar Internacional de los Juicios de Núremberg), que se opusieron a las guerras imperialistas de conquista. Al Licenciado Benito Juárez García, al General Lázaro Cárdenas, y al Ing. Heberto Castillo Martínez, mexicanos de gran espíritu ant imperialista. A Mahatma Gandhi, Nelson Mandela, Bradley Manning, Julian Assange, Edward Snowden, y James Hansen, entre muchos otros seres humanos que han actuado y actúan guiados por el interés primordial de lograr que la especie humana sobreviva en condiciones decorosas y dignas de ser vividas por todos los seres humanos y los seres vivos que conforman los ecosistemas planetarios. En particular a los pueblos de México y Estados Unidos de América, los cuales tienen la gran responsabilidad de evitar el estallido y desarrollo de una nueva y demencial guerra mundial, que podría ser iniciada por el imperio, a quien en su persecución de la conquista militar de recursos energéticos ajenos, no le importa el poner en grave riesgo la supervivencia de todas las formas de vida en el planeta.

Los autores agradecemos al Lic. Porfirio Martínez González, miembro de MEXICANOS UNIDOS, quien sugirió la escritura de este libro hace casi dos años.

... En lo personal el autor Marcelo del Castillo dedica su contribución a la memoria de sus padres, Marcelo y María Luisa.

Introducción

En este libro que a continuación leerás, encontrarás mucha información pertinente al asunto energético del cual depende la supervivencia de la especie humana. La información se presenta de la manera clara y entendible para todo público, y aporta una visión a corto y largo plazo de los principales aspectos de la vida cotidiana de la humanidad, la cual depende directamente de fuentes energéticas. También aborda los problemas fundamentales que existen en relación con los energéticos alternativos a las fuentes de combustibles fósiles, así como las técnicas requeridas para su evaluación. Todo ello va salpicado aquí y allá por algunas cuantas ecuaciones matemáticas que no impiden la coherencia y el entendimiento del material para cualquier lector, pero que ayudarán a los profesionistas y estudiosos que deseen comprender más a fondo la naturaleza del problema.

Este libro se escribe después del año 2005, año en el cual se alcanzó el consumo de la mitad de las reservas mundiales de hidrocarburos convencionales, nos quedan alrededor de 35 a 40 años de dicho recurso; las reservas mundiales de carbón mineral durarán de 50 a 60 años al ritmo actual de consumo; estas dos fuentes energéticas suman el 86% del total del consumo energético mundial. La ciencia ha demostrado sólidamente que el desarrollo pleno de una fuente energética, que aporte el gasto y el ritmo de consumo exigido actualmente por la humanidad, requiere un período de 55 años. Estamos con

el tiempo en contra.

Si a esto agregamos que se ha demostrado sin lugar a dudas que el calentamiento global ocurre debido a la quema de combustibles fósiles, y que estamos peligrosamente cerca de un incremento de temperatura (2 grados centígrados respecto al valor medio antes del comienzo de la Revolución Industrial) el cual acarreará cambios irreversibles en los ecosistemas, los cuales pondrán a corto plazo en grave peligro la supervivencia de la especie humana. Entendemos que debemos utilizar con el máximo de responsabilidad por un tiempo limitado las fuentes contaminantes para desarrollar las nuevas fuentes energéticas no contaminantes. Debemos actuar con responsabilidad y medida para lograr dicha transición energética sin originar catástrofes poblacionales, la vida de todos nos va en ello. De seguir el patrón usual de despilfarro y derroche que caracteriza la Civilización actual en cuanto al consumo de combustibles fósiles se refiere, se espera que la temperatura irá subiendo hasta alcanzar un incremento de seis grados a fines del ao 2100. Lo anterior pondrá en grave riesgo la producción mundial de cereales, de los cuales la especie humana obtiene el 60 % de sus calorías alimenticias. Actualmente, con un criterio conservador, se considera que el incremento de la temperatura, en cada medio grado, disminuya la productividad de las plantas de cereales en 5 %; esta disminución en la producción de cereales aumentará conforme aumenten las sequías por cambio climático. En México, la desertificación de las tierras, causada por el cambio climático, avanza un 2 % anual, y debido al cambio climático en 50 años la precipitación pluvial en México disminuirá en promedio 20 %; además, el 20 % de la producción agrícola de este país depende de la explotación de aguas subterráneas, las cuales al ritmo actual de explotación de los acuíferos se agotarán en unos treinta años. Dado que la producción agrícola es directamente proporcional a la cantidad de agua disponible para riego, la pro-

ducción agrícola en México disminuirá en un mínimo de 40 %, lo cual implica una reducción poblacional, por inanición, del orden de 47.8 millones de habitantes de México antes de 50 años. En Estados Unidos de América, la producción agrícola depende del agua subterránea en un 60 %, la cual está en un acelerado proceso de agotamiento; en menos de treinta años, la producción de alimentos en ese país se colapsará en el porcentaje correspondiente. Y aún más, no será autosuficiente en materia alimentaria, y no será capaz de exportar cereales, lo cual causará cientos de millones de muertes por hambre fuera del país, y decenas de millones dentro de este.

Para evitar los desastres causados por el calentamiento global, sería necesario dejar bajo tierra el 80 % de las reservas de combustibles fósiles convencionales actuales; la inercia de la economía y la necesidad de utilizar dichas reservas para realizar la transición a fuentes que no contribuyan al calentamiento global dificultarán la aplicación de dicha estrategia. Además es evidente que las grandes mayorías de la Humanidad encontrarán una férrea oposición de las principales compañías petroleras y energéticas que buscarán explotar al máximo dichos recursos en su beneficio económico; se tendrá así mismo la oposición de las principales potencias militares del mundo, comenzando por el gobierno y ejército de Estados Unidos de América que buscarán un nuevo reparto del mundo aún más favorable para ellos que el actualmente existente.

Desarrollar fuentes de hidrocarburos no convencionales como las arenas bituminosas, el gas y el petróleo de rocas de esquisto (shale gas y shale oil), y los hidratos de metano sólo acelerará el calentamiento global y reducirá la energía neta disponible para que la humanidad realice una transición a energías renovables que no liberen dióxido de carbono a la atmósfera, y que puedan aportar potencia por millones de años de manera sustentable. Las fuentes de hidrocarburos no convencionales son un espejismo que no es rentable

económicamente y solo sirve para que los grandes consumidores produzcan una burbuja especulativa que reduzca de momento el precio internacional del gas; y distraiga de la preparación de grandes guerras de rapiña por apropiarse de los yacimientos de Medio Oriente, Venezuela y México. En este probable escenario de guerra mundial por los declinantes recursos energéticos fósiles, es imprescindible que México se mantenga neutral y no intervenga en ella, para asegurar la supervivencia de la población mexicana actual y prepararse para el desarrollo masivo de las energías alternativas a los combustibles fósiles.

En este libro, entre otras cosas, encontrarás un análisis detallado de la información publicada en medios y revistas científicas acerca de 16 fuentes energéticas alternativas a los combustibles fósiles. De dicho estudio se concluye que para México en particular, y para el mundo en general, la única fuente actual factible para responder a las necesidades energéticas globales de la humanidad, sin afectar los ecosistemas planetarios, es la producción ingenieril de energía geotérmica de roca seca caliente de las profundidades de la Tierra. Para el caso de México tendríamos como ventaja nuestra experiencia en materia de perforación petrolera, la experiencia de la CFE en el desarrollo y manejo de plantas geotérmicas de roca caliente húmeda, el respetable aparato educativo de nivel superior, posgrados y de investigación en ciencia e ingeniería con que cuenta el país; y, por último, la renta petrolera que es de la nación. Todo lo anterior, junto con el desarrollo de la correspondiente infraestructura industrial, permitirá a la nación hacer la transición energética requerida, para beneficio de la población mexicana actual y futura.

Índice general

1. Antecedentes	1
1.1. Introducción histórica	1
1.2. Primera Revolución Industrial	3
1.3. Segunda Revolución Industrial	6
1.4. Tercera Revolución Industrial	8
2. Retos a la humanidad	17
3. Pico del Petróleo	23
4. Tiempo mínimo de desarrollo	33
4.1. Introducción	33
4.2. Nuevas tecnologías energéticas	34
4.3. Gasto energético por ciudad	39
4.4. Nueva fuente energética	40
5. Crisis Planetaria	45
5.1. Soluciones a las crisis	46
5.2. Final del Capitalismo	47
6. Disminución de la ganancia	53

6.1. Tasa de ganancia	53
6.2. Ciclos económicos a nivel mundial	56
6.3. Ciclos de Kuznets y grandes guerras.	59
6.4. Análisis de los ciclos Kuznets	61
6.5. Amenazas de invasión militar	71
6.6. Lavado de Dinero	71
6.7. Promoción de la Heroína	73
7. Realidad del planeta finito	75
8. Efectos adversos en el ecosistema global	81
9. Alimentos, agua y energéticos	91
9.1. Uso de energía en la agricultura	92
9.1.1. Efectos negativos de la separación entre los sitios de producción de animales para la alimentación humana y los de producción agrícola	97
9.1.2. Impacto en los ecosistemas causados por las labores agrícolas y forestales de la humanidad	97
9.1.3. Producción de bioetanol como política genocida de EUA, los energéticos y la alimentación humana	98
9.1.4. Necesidad de controlar las pestes en el ciclo agrícola de producción alimentaria	99
9.2. Consecuencias energéticas de los estilos de dietas alimentarias	100
9.3. El Agua	101
9.3.1. Introducción	101

9.3.2.	Agua y animales aprovechados por la humanidad	102
9.3.3.	Agua y ecosistemas	103
9.3.4.	Agua virtual y posibles hambrunas en el futuro cercano	103
9.3.5.	Agua, dieta humana, energéticos y ecosistemas	104
9.3.6.	Agricultura e irrigación con agua subterránea	105
9.4.	Agua del subsuelo	105
9.4.1.	Localización del agua dulce en el planeta	105
9.4.2.	Evolución temporal de la extracción de aguas del subsuelo por la humanidad .	106
9.4.3.	Efecto de la extracción del agua del subsuelo en la elevación del nivel medio de los océanos	107
9.4.4.	¿Agotamiento del agua del subsuelo y el fin de la agricultura como la conocemos?	107
9.5.	Agricultura, población humana y ecosistemas .	109
9.6.	Agricultura y cambio climático	113
9.6.1.	Producción de cereales y precios en los últimos años	117
9.6.2.	Cambios en la disponibilidad de agua debido al cambio climático y sus efectos en la población mundial	117
10.	Ecosistemas, Recursos y Energía	121
10.1.	Disminución de especies de vertebrados de 1970 al año 2010	121
10.2.	Cemento, hierro y acero	122

10.2.1. Producción de hierro y acero	122
10.2.2. Producción de cemento y necesidades energéticas	126
11.EROI	129
11.1. Introducción	129
11.2. Ganancia energética y evolución biológica . . .	131
11.3. Combustibles fósiles	131
11.4. <i>EROI</i> para el petróleo	133
11.4.1. Impacto directo de la disponibilidad de energéticos fósiles para la vida cotidiana	135
11.5. Variaciones Dinámicas de <i>EROI</i>	135
11.6. Funciones que componen <i>EROI</i>	140
11.6.1. Componente tecnológico, $G(p)$	140
11.6.2. Proceso de agotamiento del componen- te físico, $H(p)$	142
11.7. La función <i>EROI</i> para recursos renovables . .	143
11.7.1. Energía eólica	143
11.7.2. Energía solar	144
11.7.3. Hidrocarburos	145
12.EROI e Inversión Económica	149
12.0.1. Recursos no energéticos y no renova- bles, y su dependencia en función del tiempo	151
12.1. Un aspecto esencial de la energía neta	154
13.EROI y las Fuentes Alternativas	159
13.1. Criterios para aplicar <i>EROI</i>	159

14.La Técnica <i>EROI</i>	165
14.1. Petróleo	165
14.2. Carbón	166
14.3. Gas natural	167
14.4. Hidroelectricidad	167
15.Energía Nucleoeléctrica	169
16.Biomasa	173
17.Energía del Viento o Eólica	177
18.Energía Solar Fotovoltaica	181
18.1. Concentradores Térmicos de Luz Solar	184
18.2. Uso Pasivo De Luz Solar	185
19.Desperdicios de la Especie Humana	187
19.1. Energía de la basura	190
19.2. Energía de la basura. Dinamarca y México . .	202
19.2.1. Caso de Dinamarca	203
19.2.2. Caso de México	205
20.Bioetanol y Biodiesel	209
20.1. Bioetanol	209
20.2. Biodiésel	211
21.Arenas Bituminosas (Tar Sands)	219
22.Oil Shale	237

23. Modelo de Ganancia Energética	267
24. Energía de las Mareas y Ondas Marinas	273
24.1. Energía de las mareas Introducción	273
24.2. Presas de marea	278
24.3. Energía de ondas marinas	290
25. Hidratos de Metano	291
26. Roca Seca	299
27. Conclusiones	315
28. Propuestas	325
28.1. Antecedentes	325
28.2. Propuestas	328
Bibliografía	333

Capítulo 1

Antecedentes

1.1. Introducción histórica

El género homo surgió en la placa de Etiopía en África, hace un millón seiscientos mil años, y el homo sapiens hace unos ciento cincuenta mil años. El hombre primitivo se limitaba a utilizar la energía bioquímica contenida en los alimentos, los cuales aportaban entre 2000 a 2500 kcal per cápita al día [1]. Las necesidades que cubre esta energía son: las básicas a escala biológica para la supervivencia en reposo, más la realización de labores físicas como la caminata, la cacería y la recolección de alimentos, las cuales no consumían mucha energía (Véase Fig. 1.1). Posteriormente, hace unos 60,000 años, la especie humana aprendió a utilizar el fuego, con lo cual amplió tanto la disponibilidad de energía, como la de alimentos asimilables por el hombre. Por supuesto que al principio (en Eurasia) el fuego se utilizaba sólo para mantener alejadas a las bestias durante la noche y calentarse [2]. Hace 10,000 años, justo antes del invento de la agricultura por las mujeres [4], la humanidad había llegado a una población de

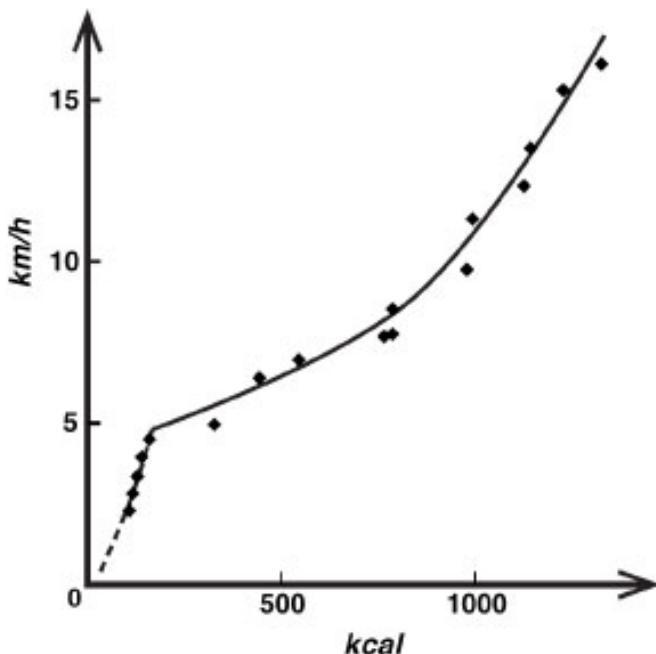


Figura 1.1: Kilocalorías consumidas durante una caminata de 15 km por un hombre de 80kg. Gráfica construida a partir de los datos de la referencia [3].

5.3 millones [5], la cual era la máxima población posible en estado estacionario, bajo las circunstancias de vida basadas en la caza y la recolección sobre el planeta. Durante alrededor de los 7,000 años posteriores a ese evento, en Eurasia, la única fuerza disponible para la agricultura era la del hombre, que para los fines prácticos proporciona una potencia efectiva aproximada de 70 Watt-h (energía que en una hora equivale a 57 kcal) [6]. Hace unos 3,000 años, en Eurasia los humanos domesticaron, entre otros animales, al buey y al caballo, y los utilizaron para arar la tierra con una potencia efectiva de 248 Watt-h (debido a que las limitaciones de los aparejos iniciales sólo permitían aprovechar un tercio de la potencia proporcio-

nada por el animal [2]). Con esta nueva situación se tenían ventajas adicionales a las agrícolas, se podía utilizar el pasto, que no era aprovechable directamente por el hombre, para obtener carne, leche y derivados, así como cuero en cantidades superiores a los que proporcionaba la cacería; además, el excremento de las bestias de carga contribuía a fertilizar la tierra de cultivo [7].

Paralelamente, gracias al uso de la energía propia y de los animales de tiro, se fueron fabricando máquinas, accesorios y herramientas empíricas, que facilitaban las labores, como: el arado, la rueda, barcos de vela, carretas, palancas, etc.; inspiradas todas ellas en algún fenómeno físico. Posteriormente se fueron dando combinaciones entre distintos inventos: viento + rueda + velas = molino de viento. Agua en movimiento + rueda con remos modificados + piedra rodante = molino para granos.

El cambio ocurrido hace 10,000 años desde la etapa de cacería y recolección, para depender de la agricultura, para la humanidad significó el paso de una manera simple de trabajo social a otra organización más compleja del mismo. La transición, de un nivel de complejidad al siguiente, siempre estuvo marcada por un incremento en el uso de la energía; durante la etapa inicial de la agricultura significó que la gente tenía que trabajar más duro [8]. La etapa agrícola inicial, que desde el punto de vista científico corresponde a la primera revolución de la humanidad, se puede caracterizar como la etapa de la producción agrícola, el uso de los combustibles y energías renovables y del desarrollo empírico de máquinas.

1.2. Primera Revolución Industrial

Hace aproximadamente 500 años, en Gran Bretaña, durante el gobierno de la reina Isabel, ya se había puesto de

manifiesto la escasez de madera. De 1540 a 1640 el precio de la madera se elevó tres veces más que el nivel general de los demás productos [7]. En 1631 Edmund Howes describió cómo la sociedad inglesa se vio obligada a consumir carbón de piedra (coque) a nivel industrial y como combustible doméstico. Por ese entonces, el gran consumo de madera, y la ausencia de reforestación, habían conducido a una gran escasez de madera, no solo en la ciudad de Londres, sino en todas las ciudades y muchas partes del interior del país. En general, los habitantes estaban limitados a quemar hierbajos para cocinar, ramitas y restos de madera que llegan flotando a las costas. Presionados por dicha situación, por primera vez una parte de la humanidad comenzó a depender de una fuente energética no renovable y no sustentable, para resolver sus necesidades diarias de combustible [8]. Conforme se incrementó la demanda de carbón de piedra, se fueron agotando las minas más superficiales de este recurso y se hizo necesario hacer minas más profundas para sacarlo, lo que encareció su precio. Los yacimientos más profundos comúnmente estaban debajo del nivel freático de agua, lo cual obligó en un primer tiempo a sacar el agua con cadenas cargadas de tinajas de metal, jaladas con caballos. Al incrementarse la profundidad de las minas, la creciente fricción en las cadenas obligó al desarrollo de nuevos métodos de sacar el agua y de disminuir el costo de extracción del carbón.

La dificultad para extraer el carbón del subsuelo en grandes cantidades se resolvió mediante el invento y la aplicación de la bomba de vapor, por Papin, en Francia, para extraer el agua que se filtraba en las minas. En 1705 Newcomb la mejoró, y fue hasta 1765 cuando James Watt construyó el antecesor de los modernos motores de combustión externa a vapor. En pocos años se encontraron aplicaciones diversas en la industria para mover telares, laminadoras, excavadoras de roca y todo tipo de maquinaria, de manera mucho más efi-

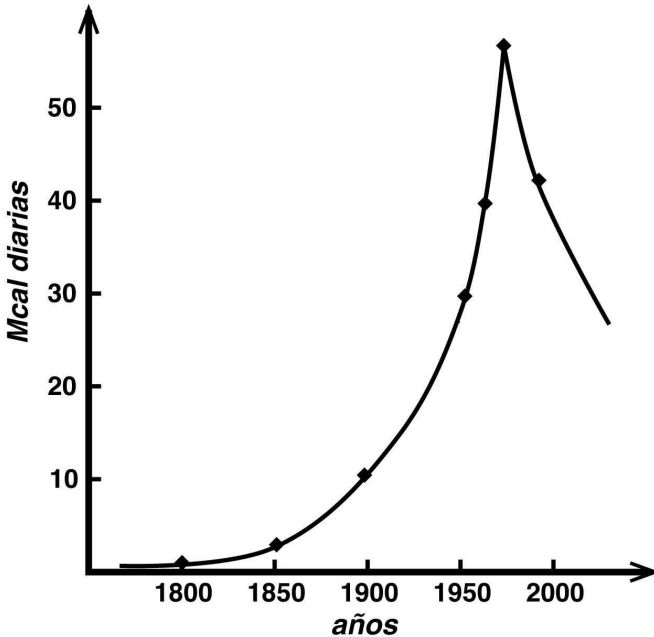


Figura 1.2: Uso de energía producida a partir del petróleo con fines ajenos al alimentario. El pico de dicho consumo ocurre en 1979. Datos tomados de la referencia [10].

ciente que la rueda hidráulica; por otro lado la máquina de vapor permitía aumentar la potencia motriz, sin depender del anclaje geográfico de las corrientes de agua, característico de las ruedas hidráulicas [9].

La esencia de esta revolución es que la industrialización produce bienes a bajo costo, mediante el incremento del capital en máquinas, el uso de energía externa a la especie humana y la sustitución de mano de obra en la producción de bienes; en dicha etapa la basura y los desechos industriales producidos eran tan escasos que no amenazaban los ecosistemas planetarios.

1.3. Segunda Revolución Industrial

A fines de 1860, la necesidad de iluminación nocturna crecía continuamente y se cubría con aceites de origen animal, en particular de ballena. Alrededor de 1859, Edwin Drake en Titusville, Pennsylvania, EUA, comenzó a realizar sistemáticamente la extracción de petróleo. El uso inicial del petróleo fue como aceite para iluminación y pronto como combustible. Comparado con el carbón era muy barato y tenía muchas ventajas: como su limpieza, su homogeneidad, su ausencia de cenizas y residuos sólidos al quemarse, la facilidad de traslado y almacenamiento, y su alta densidad energética por unidad de peso. Asociado al uso del petróleo como combustible, aparecen en un período de 20 años (1867-1887): el motor de combustión interna (diésel), la energía eléctrica, la lámpara eléctrica, la telegrafía sin hilos, el teléfono, la primera de las fibras sintéticas (la seda artificial) y el primero de los plásticos sintéticos como la bakelita [11].

A comienzos de 1900, ya se delineaba el desarrollo de la economía basada en el consumo del petróleo. Desde entonces, la expansión de su consumo fue un fenómeno fundamentalmente cuantitativo, si exceptuamos el reciente desarrollo de la petroquímica (véase Fig. 1.3) Esta etapa, la cual termina en la Primera Guerra Mundial, es llamada La Segunda Revolución Industrial y se le puede caracterizar, entre otras cosas, por un cambio cualitativo respecto a la etapa anterior, destacando su carácter más científico, su menor dependencia del empirismo, y la creciente primacía de lo ciencia sobre la técnica. Mientras que el desarrollo del motor de combustión interna y las fibras y plásticos sintéticos se basan en el desarrollo científico previo de la termodinámica, a la que contribuyeron con sus aportaciones Carnot, Joule, Kelvin, Clausius, Helmholtz y Gibbs; el desarrollo de la electricidad, la lámpara eléctrica, el motor eléctrico, la telegrafía sin hilos, el telégrafo, etc.,

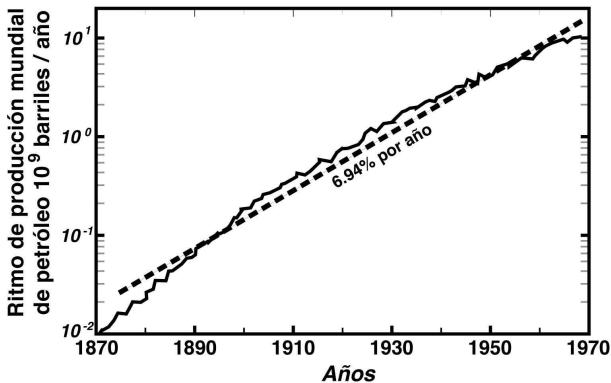


Figura 1.3: Ritmo mundial de producción del petróleo hasta 1970, donde comienza a declinar. El promedio de producción es de casi 7% anual durante 80-90 años. Datos tomados de la referencia [2].

se basan en el desarrollo de la electrodinámica, realizado por una gran cantidad de investigadores destacándose entre ellos: Maxwell, Faraday y Hertz.

Como un paréntesis, antes de abordar a la Tercera Revolución Industrial (Primera Revolución científico-técnica), podemos mencionar que en cada revolución, el avance de la producción, la ciencia y la técnica redundan en múltiples ventajas de diverso tipo para la población lo que origina “revoluciones” dependientes de las industriales en otras áreas de la vida de los seres humanos. Por ejemplo en la medicina, durante la Primera Revolución Industrial, entre 1700 y 1800, se produjo la vacunación antivariólica, la pasteurización de alimentos y la cirugía antiséptica; todo ello, por supuesto, basado en el descubrimiento previo de los gérmenes patógenos. Por otro lado, entre 1928 y 1940 con los trabajos de Fleming sobre la penicilina, surge la “Segunda Revolución de la Medicina”, que permite el desarrollo de la insulina, la tiroxina, los marcapasos, y el trasplante de órganos. El conjunto de mejoras en medicina, higiene y nutrición contribuyen decisivamente al

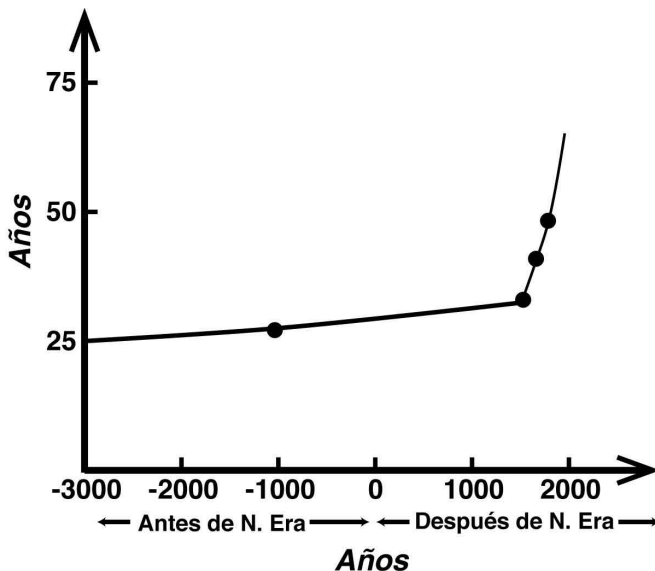


Figura 1.4: Variación de la vida media de los humanos durante los últimos cinco mil años. Datos tomados de la referencia [5].

aumento de la población, pues esta mejora su calidad física y aumenta su esperanza de vida (véase Fig. 1.4) en el mundo y (Fig. 1.5) en México.

1.4. Tercera Revolución Industrial (Primera Revolución científico-técnica)

A partir de la Segunda Guerra Mundial se inicia el surgimiento gradual de la Tercera Revolución Industrial (Primera Revolución científico-técnica). Se identifica con un ritmo de cambio científico y tecnológico sin precedentes por su amplitud, intensidad, así como por su profundidad y continuidad.

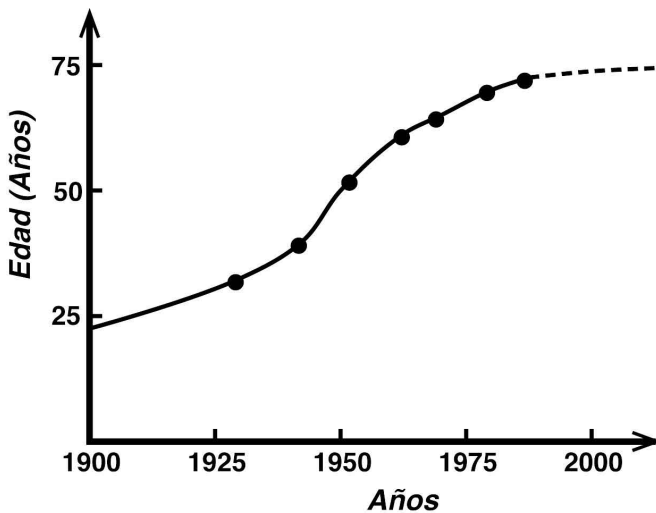


Figura 1.5: Vida media de la población mexicana durante los últimos cien años. Gráfica construida a partir de datos de la referencia [12].

La tasa de cambio científico y tecnológico es proporcional al número de personal activo en las áreas correspondientes. Un 85% de todos los científicos que han existido a lo largo de la historia están vivos hoy, y se encuentran en plena actividad profesional [13]. En la etapa que vivimos actualmente, puede esquematizarse de manera tentativa por el tipo de actividades que despuntan como centrales. En primer lugar tenemos el desarrollo, perfeccionamiento, extraordinaria difusión y uso de las computadoras para diferentes actividades como informática, comunicación, enseñanza, diversión, etc.; y sobre todo, la creciente aplicación de robots a las actividades industriales de tipo productivo, esto libera al ser humano de labores insalubres, agotadoras repetitivas y monótonas o peligrosas, o de las que requieren alta precisión mecánica. En segundo lugar, tenemos el desarrollo y búsqueda de aplicaciones de la biotecnología ecológicamente seguras que no pongan

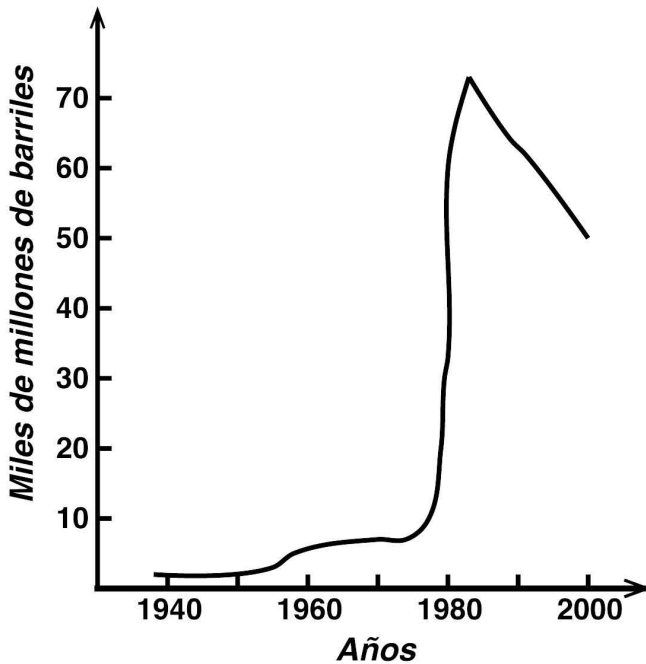


Figura 1.6: Reserva mexicana de hidrocarburos. Gráfica construida a partir de los datos de las referencias [14-16].

en peligro a los ecosistemas del planeta, ni la vida humana por la desenfrenada búsqueda de ganancia a toda costa de empresas como Monsanto. En tercer lugar, el desarrollo y aplicación de nuevos materiales para muy diversos usos. En cuarto lugar, la aparición paulatina y creciente de la conciencia de la finitud práctica del planeta Tierra, y del aumento de los efectos secundarios de la creciente actividad humana, adversos a la continuidad de toda la vida en el planeta. El surgimiento incipiente de la necesidad de realizar actividades científico-técnicas de todo tipo, que permitan que las actividades humanas se puedan llevar a cabo de manera tal que se garantice la supervivencia de la especie y de todas las otras especies a largo plazo. En otras palabras, la concien-

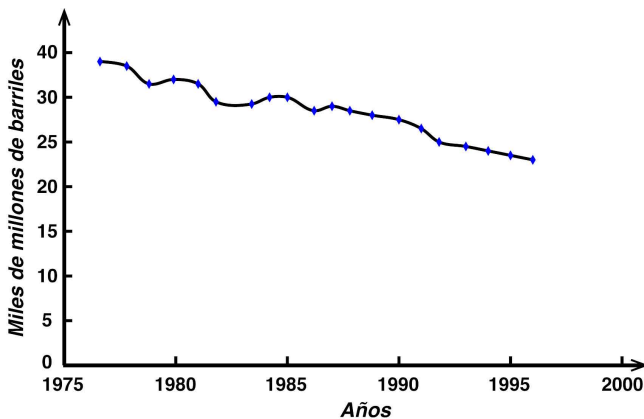


Figura 1.7: Reservas probadas de petróleo crudo de EUA. Gráfica construida a partir de los datos de la referencia [14].

cia de la creciente necesidad de desarrollar al máximo posible las capacidades científico-técnicas y humanas requeridas para afrontar, con éxito, una gran cadena de diversas crisis, que se deben resolver de manera específica so pena de desaparición de la totalidad de la especie humana y demás formas de vida superior del planeta. Y en quinto lugar, la necesidad creciente de desarrollar nuevos energéticos que no contribuyan al calentamiento global y sean una alternativa real técnica y económica a los combustibles fósiles (hidrocarburos y carbón mineral), que están en proceso de agotamiento (véase gráficas para México, Fig. 1.6), Estados Unidos de América (Fig. 1.7) y el mundo (Fig. 1.8). En particular, para México el problema es urgente, por la rapidez de incremento en las exportaciones de petróleo a EUA (Fig. 1.9). Recapitulando, hemos visto que desde los albores de la civilización las actividades productivas humanas han sufrido cuatro revoluciones o transformaciones profundas, en dicho proceso histórico; se pasa de métodos basados en la imitación de la naturaleza y el uso de la fuerza física humana, a otros métodos superiores y de mayor com-

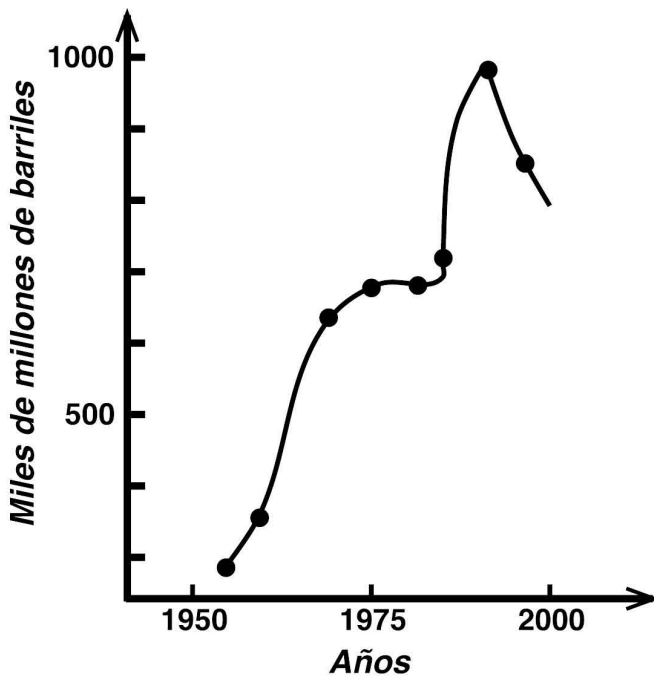


Figura 1.8: Reservas probadas de hidrocarburos en el mundo. Gráfica construida a partir de los datos de la referencia [12,14].

plejidad. Se advierte una tendencia creciente de ampliar y aplicar el conocimiento de la naturaleza mediante el uso de la ciencia y la técnica para desarrollar máquinas y sistemas complejos de ellas que permitan, más fácilmente, realizar las labores fundamentales de la producción económica. En dicha evolución se observa que cada vez se va utilizando una mayor cantidad de energéticos por unidad de tiempo para mantener funcionando la estructura socioeconómica global. El tipo y cantidad de energía por unidad de tiempo utilizado para la producción de bienes y servicios ha condicionado la estructura socioeconómica de las sociedades humanas a lo largo de la historia. Dentro de los grandes cambios a los que nos referimos, cabe destacar algunos aspectos, por ejemplo,

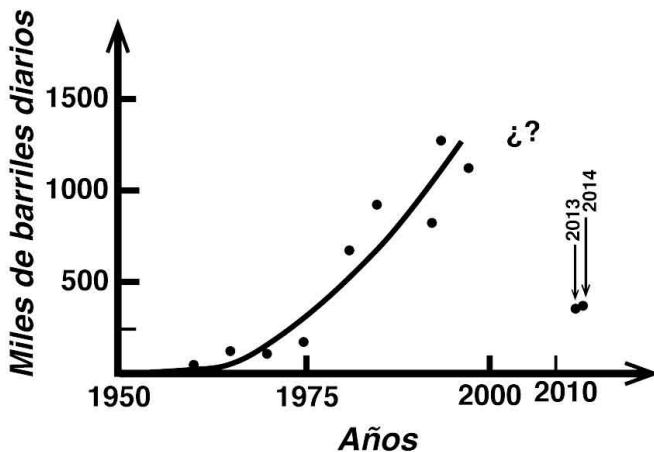


Figura 1.9: Exportaciones de petróleo de México a E.U. Construida con datos de la referencia [17] y periodísticos de la Jornada, en particular los dos últimos puntos.

desde el invento de la agricultura se ha dado un proceso de formación y expansión de ciudades, las cuales, a escala mundial, actualmente agrupan alrededor del 50% de la población total, y en México al 77% de la población nacional, (véase además para México, el crecimiento en el tiempo del número de ciudades con población mayor a 15,000 habitantes, Fig. 1.10). Con el invento de la agricultura y su desarrollo científico, se ha pasado de una población mundial de 5.3 millones de humanos, a una de más de siete mil millones. La esperanza de vida media para la población ha pasado de 20 años a un promedio de 65 años a nivel mundial. El transporte de carga ha pasado de una velocidad de 3.5 km/h por tierra a 150 km/h en trenes rápidos. La comunicación, que solía tardar meses o años dentro de un continente, ahora tiene una velocidad casi instantánea en cualquier parte del mundo, a través de la Red Internacional de Computadoras (Internet).

Así como el tremendo incremento en el conocimiento humano científico-técnico, que actualmente crece a ritmo exponencial con el tiempo.

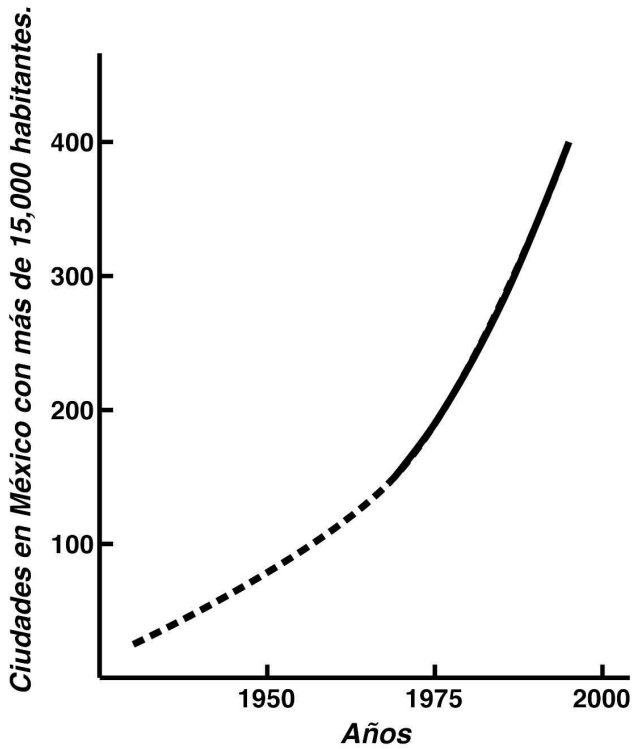


Figura 1.10: Incremento de ciudades con más de 15 mil habitantes durante las últimas décadas en México. Construida con los datos tomados de la referencia [18].

Capítulo 2

Retos a la Humanidad: Grandes Problemas por Resolver

Actualmente existe el creciente temor de que la humanidad esté en peligro de extinción, debido a las consecuencias secundarias no previstas de su “éxito”. Algunos de los problemas, que de no solucionarse adecuadamente a largo plazo pueden poner en riesgo la existencia misma de la humanidad son: las deficientes técnicas de agricultura, ganadería y pesca, escasez de agua dulce, disminución paulatina de áreas boscosas (véase Fig. 2.1 a escala mundial, y Fig. 2.2 para México), agotamiento de combustibles fósiles y necesidad de alternativas energéticas, contaminación del aire, el suelo, el agua y los alimentos, disminución creciente en el número de especies vegetales y animales, desarrollo de guerras por recursos agotables (en particular tierras, agua y energéticos), falta de educación de calidad en países pobres como México, falta de alimentación adecuada, crecimiento continuo de la población y su deseo por satisfacer sus necesidades, consecuencias varias del efecto invernadero, etcétera. No sólo cada

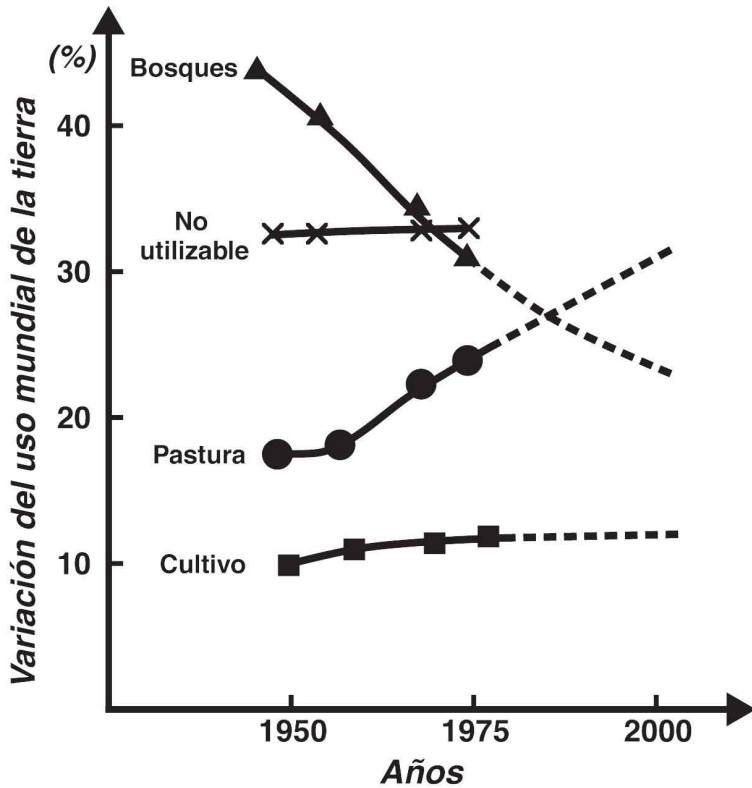


Figura 2.1: Variación porcentual del uso de la tierra a nivel mundial. Construida con datos tomados de la referencia [20]

uno de esos desafíos amenaza la supervivencia de la especie humana y otras más, sino que el desarrollo de uno de esos problemas sin resolver afecta el crecimiento de los otros, con los cuales tiene relación directa o indirecta. De igual manera, puede verse que la evolución de otros problemas, como el de la contaminación del medio ambiente, incide sobre la calidad de vida a escala planetaria, a corto plazo, y sobre la vida misma, a largo plazo. Hasta hace poco tiempo, un proceso industrial se analizaba sólo desde un punto de vista de los posibles beneficios, los empresarios se preguntaban si de

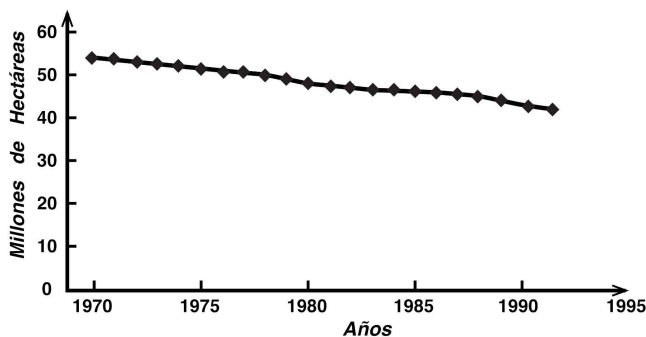


Figura 2.2: Disminución de las áreas ocupadas por los bosques en México durante los últimos 30 años. Construida con datos tomados de la referencia [21].

la realización del proyecto se obtenía una ganancia atractiva, si la respuesta era afirmativa, éste se llevaba a cabo sin preocuparse por los daños colaterales. La ecología como ciencia comenzó a destacar el asunto de la contaminación, y la realidad de la misma ha obligado a los economistas a parchar sus teorías, internalizando (como ellos le llaman) los costos ambientales de sus proyectos. Estos problemas pueden verse en otro marco teórico más fundamental que los otros dos ya mencionados: ¿Cuánto implica en energía libre haber obtenido los productos industriales (x) al ritmo y en la magnitud producidos?, comparado con ¿cuánto implica en energía libre restaurar el medio ambiente a sus condiciones iniciales tal que el proceso industrial x pueda realizarse por tiempo indefinido sin afectar las posibilidades de vida animal y vegetal? Si la comparación arroja un saldo negativo a la resta de la segunda con la primera, cabe cuestionarse profundamente la realización de tal proceso en el largo plazo. Por ejemplo, si en el proceso de obtener un nuevo energético a un ritmo y cantidad específica, liberamos al medio ambiente sustancias contaminantes dañinas para la vida en el planeta, en cantidades tales que contener y guardar las sustancias o eliminarlas

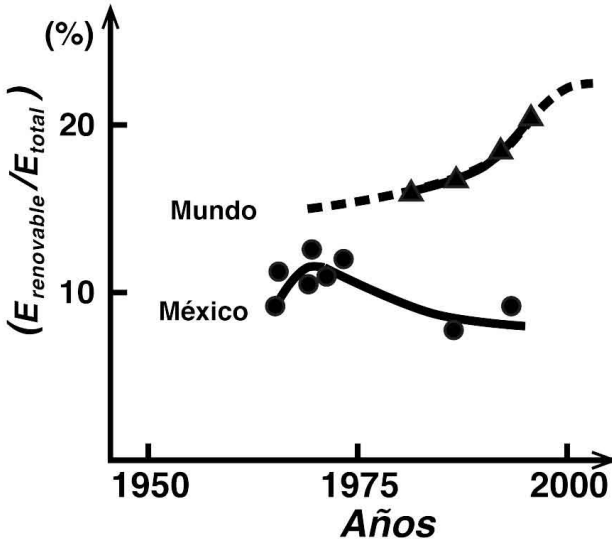


Figura 2.3: Porcentaje de uso de energías renovables respecto al uso de energía a nivel mundial y nacional. Vemos que contrario a la tendencia mundial, nuestro país no incrementa su participación en energías renovables. Datos tomados de las referencias [23] y [24], es decir CFE.

y lograr que sean inocuas o no tóxicas requiere más energía que la obtenida durante la operación de la fuente energética, estamos envenenando con tendencia irreversible al planeta en su conjunto; y si una gran proporción de nuestros procesos productivos se comportan de manera similar, estamos en camino de extinguir una parte importante o toda la vida en el planeta. Todos los procesos industriales requieren energéticos de manera directa o indirecta para su realización. Pero fue a partir de la crisis energética de 1974, que la humanidad comenzó a conocer en el ámbito social, lo central que eran los energéticos para el sostenimiento y desarrollo de la vida actual de los seres humanos. Esto es, se percataron de algo que los ingenieros y los físicos sabían desde hace más de dos-

cientos años. Lo que ocurría es que la humanidad había dado por sentado que el flujo energético necesario para su desarrollo estaba garantizado en cualquier momento, no importaba cuán lejos llegara en el tiempo. La humanidad como conjunto ignoraba lo que, entre otras personas, había dicho Bertrand Russell hace más de 50 años: que la humanidad no se había dado cuenta que vivía en una orgía de despilfarro, dilapidando en doscientos años recursos energéticos no renovables que le había tomado a la naturaleza más de 100 millones de años almacenar [22]. El 88 % de la energía mundial utilizada cotidianamente en la forma de petróleo, gas o carbón es de origen fósil [23]. En México esta proporción es mayor: 92 %, y está en ascenso (véase Fig. 2.3), a diferencia de la mayoría de los países desarrollados, los cuales de manera creciente utilizan combustibles renovables. Además de acuerdo con Campbell y Laherrere [11] el 80 % de la producción de hidrocarburos a escala mundial proviene de campos petroleros, encontrados antes de 1973, y no se espera hallar nuevos campos del tipo gigante, sino más bien pequeños, los cuales no van a contribuir sustancialmente a las decrecientes reservas probadas a escala mundial.

Si bien el carbón mineral a nivel mundial dista de acabarse, existen a futuro consideraciones muy bien fundadas que permiten suponer que surgirá una fuerte oposición a su uso indiscriminado y menos a un aumento al ritmo de su utilización. (Véanse documentos del Worldwatch Institute. Por ejemplo, ref. [25]).

Capítulo 3

Pico del petróleo y de los Minerales en un Planeta Finito

Existen tres formas de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas. Los estamos consumiendo a un ritmo millones de veces más rápido de lo que se forman; y a través de la atmósfera estamos regresando al ecosistema planetario el dióxido de carbono y otros minerales que alguna vez tomaron de la misma los árboles prehistóricos. Con ello estamos regresando a los valores de dióxido de carbono atmosférico característicos de aquellas épocas en las cuales la temperatura media de la superficie de la Tierra era más alta que la actual. Desde una fecha tan lejana como 1896, Svante Arrhenius, quien fue premio Nobel de Química en 1903, predijo que la Revolución Industrial produciría un calentamiento global debido a la quema de combustibles de origen fósil y el consecuente regreso de dióxido de carbono a la atmósfera; con el esperado efecto invernadero. Actualmente, son muy pocos los científicos que niegan la realidad del calentamiento global cuyos efectos están a la vista, se acumulan y se acentúan.

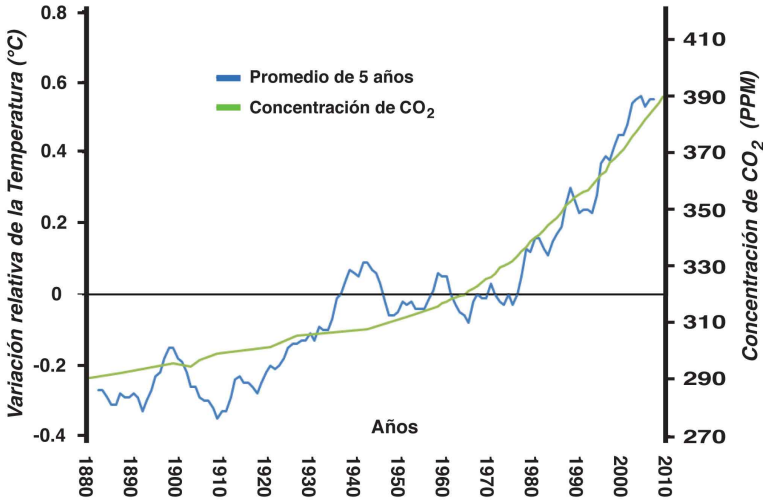


Figura 3.1: Tendencias globales de la temperatura superficial en el planeta Tierra y de la concentración del dióxido de carbono (CO_2) en los últimos 130 años . Construida con datos tomados de la referencia [21].

Durante la explotación de los yacimientos o campos petroleros experimentalmente, la producción cambia en el tiempo siendo al principio baja, luego sube y posteriormente se nivela para comenzar a descender de manera más o menos simétrica en el tiempo. El modelo que mejor describe el comportamiento temporal es el propuesto por M. King Hubbert [27].

$$P = \frac{Ae^{-t}}{(1 + e^{-t})^2} \quad (3.1)$$

Donde P es la producción diaria en miles o millones de barriles, o la función de probabilidad de producción diaria. A es una constante en unidades de miles o millones de barriles característica de cada pozo o campo petrolero y t es el tiempo en años que ha estado produciendo el pozo o campo petrolero correspondiente. Usualmente la ecuación se grafica como sigue: En el eje vertical se reporta la producción diaria en miles

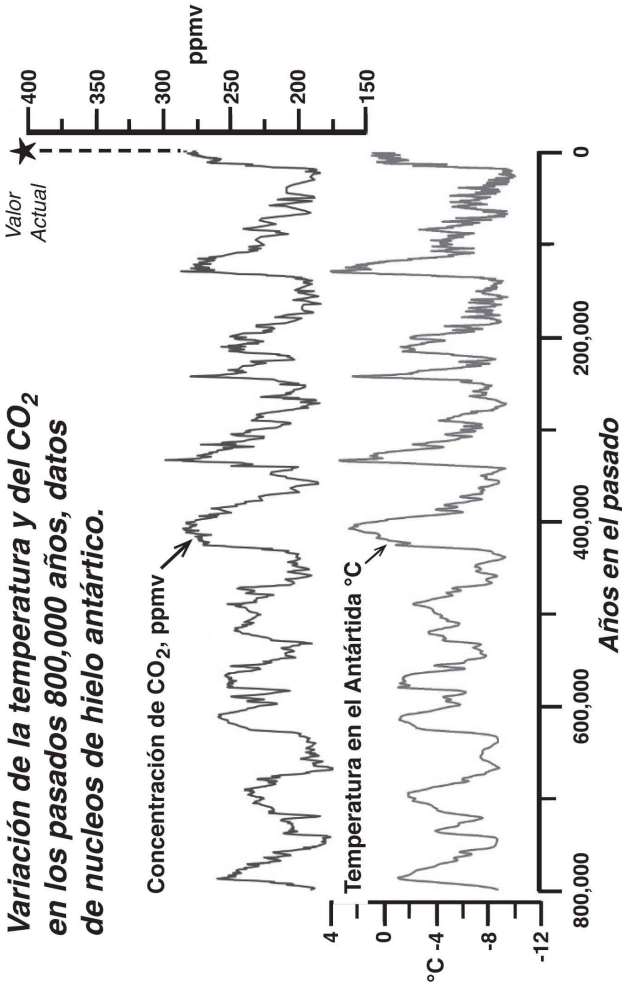


Figura 3.2: Variación de la concentración del dióxido de carbono atmosférico y de la temperatura superficial de la Tierra desde hace 800,000 años, época en que mediante la evolución, los homínidos se transformaron en el hombre actual. Es notoria la correlación entre la variación de la temperatura y la concentración del CO₂. Durante este periodo de tiempo la temperatura de los océanos no cambió de manera notoria. Tomada de Ref. [10].

o millones de barriles, en el eje horizontal las fechas por años en que ha ocurrido dicha producción. El punto máximo de la curva que tiene forma de campana, corresponde a la mitad del aceite que producirá el pozo o campo en toda su vida de producción.

La producción acumulada al tiempo t , Q es,

$$Q = \int_0^t P dt, \quad (3.2)$$

y la cantidad última o máxima de recursos que puede ser recuperable Q_{max} viene dada por

$$Q_{max} = \int_0^{\infty} P dt. \quad (3.3)$$

Y entonces,

$$Q = \frac{Q_{max}}{(1 + e^{-bt})^2}, \quad (3.4)$$

donde a y b son constantes. Y el tiempo al cual ocurre el máximo en la producción, t_{max} también llamado el pico del petróleo para ese yacimiento o campo se puede determinar de,

$$t_{max} = \frac{1}{b} \ln(a). \quad (3.5)$$

La gráfica de la ecuación (3.4) es una función sigmoïdal, o curva logística, como las que se observan en fenómenos de evolución de la población humana acumulada al tiempo t , si es que se ha de estabilizar en un estado de equilibrio en un planeta de tamaño finito (Hubbert [1.a], o en modelos de cambio tecnológico [1.b]). La Figura (3.3) corresponde al llamado Grupo III, compuesto por 56 países productores, los cuales colectivamente llegaron a su pico de producción con 40 millones de barriles diarios alrededor de 1999 (40 millones de 85 millones de barriles diarios de producción mundial), con

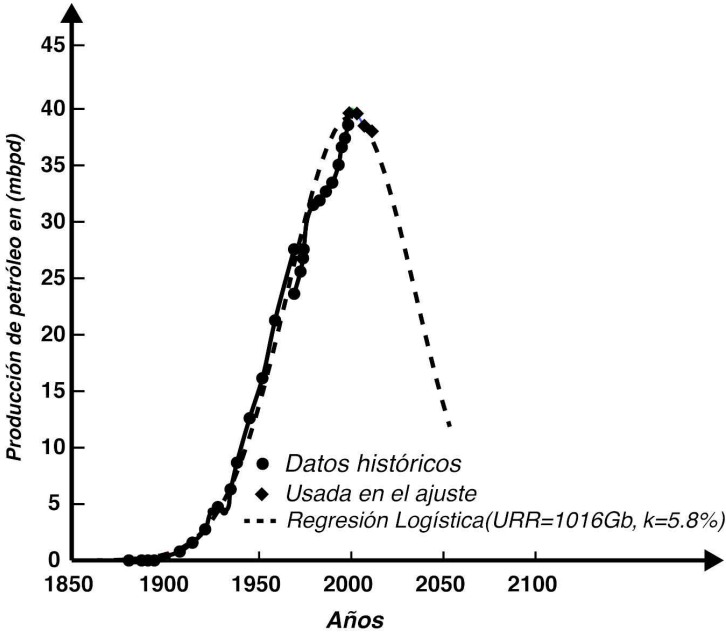


Figura 3.3: Modelo logístico para el llamado Grupo III.

una cantidad máxima recuperable de alrededor de 1.0 TB¹ y una producción acumulada hasta 2005 de 600 GB² [28]. Los puntos en con forma de rombo fueron utilizados para realizar el ajuste teórico.

Otra manera de mostrar gráficamente los datos de explotación en función del tiempo, llamada “la linearización de Hubbert” [29], permite estimar dos parámetros muy importantes de la curva de Hubbert: la rapidez logística de crecimiento y la cantidad última de recursos que puede ser recuperada.

La linearización de Hubbert consiste en graficar los datos de producción diaria (P) como una fracción de la produc-

¹Tera Barriles de petróleo, es decir 10^{12} barriles.

²Giga Barriles de petróleo, es decir 10^9 barriles.

ción acumulada al tiempo t , (Q) , P/Q en el eje vertical y la producción acumulada (Q) en el eje horizontal. Esta representación utiliza la propiedad lineal de la ecuación logística diferencial,

$$\frac{dQ}{dt} = P = KQ \left(1 - \frac{Q}{URR} \right), \quad (3.6)$$

Donde K y URR son respectivamente la rapidez de crecimiento logístico y la cantidad última o máxima de recursos que puede ser recuperable. Así, la expresión anterior puede ser escrita como,

$$\frac{P}{Q} = K \left(1 - \frac{Q}{URR} \right). \quad (3.7)$$

La regresión lineal sobre los datos experimentales nos permiten determinar K como la intersección de la curva con el eje vertical, y la pendiente es igual a $-K/URR$, de la cual encontramos el valor de URR . Donde obviamente Q , es

$$Q_{max} = URR = \int_0^{\infty} P dt. \quad (3.8)$$

En la ecuación (3.7), el término $1 - Q/URR$ es la fracción del petróleo que es recuperable al tiempo t . Esta ecuación nos dice que la capacidad de producir petróleo es linealmente dependiente de la cantidad de la cantidad de petróleo que aún se puede obtener del yacimiento en cuestión. En la gráfica 3.4 se aprecia que el máximo de producción, correspondiente al 50 % de las reservas técnicamente posibles de extraer se alcanzó a fines del 2005 o principios de 2006.

En abril del 2011, el economista en jefe de la Agencia Internacional de Energía, Fatih Birol, reveló: “*Consideramos que la producción de petróleo crudo alcanzó su pico en 2006*”, [31].

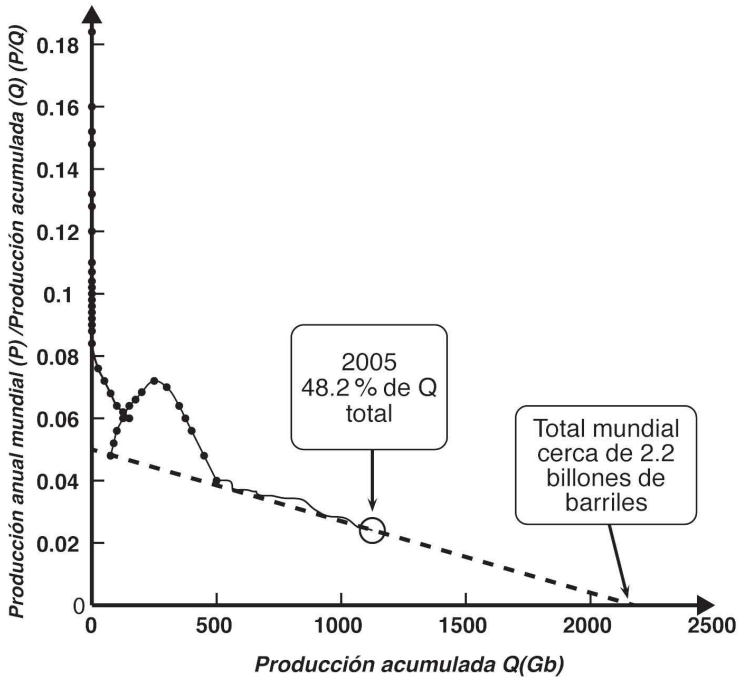


Figura 3.4: Producción anual mundial (P) como la fracción de la producción acumulada (Q), (P/Q) versus la producción acumulada, tomada de la ref. [30].

De acuerdo con Richard A. Kerr, hace seis años, a fines del 2005, los expertos consideraban que en once años estaríamos en problemas; sin embargo, la realidad nos alcanzó antes de lo previsto, desde principios de 2011 se ve que, a pesar de que el precio mundial del petróleo se ha triplicado en ese lapso, la producción mundial de petróleo (por miembros de la OPEP y productores fuera de dicha organización) no se ha podido incrementar de manera significativa desde 2004. En la década pasada la producción de los campos existentes ha estado declinando entre 4% y 5% anual; y algunos expertos piensan que esto ocurre aún más rápido [32].

La importancia militar y económica de esta época se destaca claramente a través de algunas afirmaciones de Dick Cheney. Antes de entrar en materia heremos una breve síntesis acerca de dicho personaje. Cheney fue Secretario de Defensa de los Estados Unidos (1989-1993), entre 1990 y 1991 jugó un papel clave en el conflicto bélico desencadenado con Irak por la invasión de Kuwait, al dirigir todos los acuerdos y alianzas previas a la Guerra del Golfo. El 3 de julio de 1991 recibió la Medalla Presidencial de Libertad otorgada por el Presidente George Bush por su liderazgo durante la Guerra del Golfo. En enero de 1993 se fue al sector privado. En 1999, Dick Cheney como Presidente ejecutivo de la compañía petrolera Halliburton dio un discurso ante el London Institute of Petroleum. Según el investigador Kjell Aleklett de la Universidad de Upsala en Suecia [33], dicho discurso fue removido del sitio de la red del London Institute of Petroleum (www.petroleum.co.uk/speeches.htm). Lo esencial del mismo es lo siguiente: *Existen algunas estimaciones acerca del crecimiento en la demanda anual del petróleo del 2%, y de una declinación conservadora del 3% en la producción mundial en los próximos años. Lo anterior significa que existirá un déficit de 50 millones de barriles por día. ¿De dónde vendrá dicho petróleo? Los gobiernos y las compañías nacionales controlan el 90% de todas las existencias. El petróleo es pues un negocio gubernamental. Mientras muchas regiones del mundo ofrecen oportunidades de explotación petrolera, el Medio Oriente con sus dos tercios del petróleo mundial y el costo de explotación más bajo, es donde está el premio mayor.*

Y en esa misma conferencia Dick Cheney sostuvo: *El petróleo es único por cuanto es estratégico de forma natural. Aquí no estamos hablando acerca de copos de jabón o lencería. La Energía es verdaderamente fundamental para la economía mundial. La Guerra del Golfo fue un reflejo de esa realidad.*

Interesantes afirmaciones y más interesante que, a princi-

prios de 2000, entró en la fórmula con Baby Bush como vicepresidente, puesto que ejerció de 2001 a 2009, co-dirigiendo las guerras e intervenciones militares en Medio Oriente. ¿Dudas de la importancia del petróleo a nivel estratégico? Más cuando el teórico inicial del pico del petróleo M. King Hubbert, respecto a los energéticos, afirmó: *Es evidente que el futuro de la población humana del mundo, para bien y para mal, está inextricablemente interrelacionada con el uso de los recursos energéticos.*

Respecto a las limitaciones en la obtención de los minerales que se utilizan en las diferentes actividades económicas, podemos afirmar que existen trabajos serios que indican que está por alcanzarse un pico en minerales como el fósforo, lo cual amenaza la seguridad alimentaria de la especie humana no más allá del 2030 [34-35], y que en Estados Unidos, por limitaciones de costo se está considerando tomar la chatarra de aceros como si fuera material de minas [36]. En relación a otros minerales, lo que queda claro es que si bien sus yacimientos no están tan concentrados como en el caso del petróleo, excepto el carbón mineral también en proceso de agotamiento en el corto plazo, y dado que vivimos en un planeta de tamaño finito y es un principio de la economía minera explotar primero los yacimientos de más alta ley, lode de mas baja ley se van dejando para su explotación posterior, pues son más intensivos en uso de área, agua y de energía; así que dichos yacimientos de baja ley serán eventualmente desechados por alto consumo de energía, utilización y contaminación de agua o por perturbaciones profundas a los ecosistemas [37], como es el caso del oro según el Washington Post [38], y como puede ocurrir con la minería de distintos metales [39].

Capítulo 4

Tiempo Mínimo Requerido para Desarrollar de forma Masiva una Nueva Tecnología Energética

4.1. Introducción

La energía utilizable por la especie humana juega un papel fundamental en la forma en que vive y se organiza la población; así como en la magnitud de su crecimiento y población total. En particular, de la cantidad de energía per cápita depende la calidad de vida promedio. Cubrir las necesidades de energía útil de la gente es esencial para su supervivencia en la sociedad actual; por ello no es sorprendente que sean importantes actividades de la vida humana tanto la producción de energía como su consumo. El avance o el simple mantener la estructura social humana global en el planeta depende de

nuestra habilidad para convertir energía natural de distintos orígenes en energía utilizable. Se sabe que en una primera aproximación, la calidad y duración de vida es proporcional a la cantidad diaria de energéticos per cápita que la civilización usa; y que los energéticos accesibles están condicionados muy fuertemente por razones de naturaleza técnica [40-42].

4.2. Tiempo mínimo requerido para desarrollar de forma masiva una nueva tecnología energética.

Pero no creamos que la presente transición energética de combustibles fósiles a energéticos alternativos es la primera crisis que se presenta, recordemos la transición descrita anteriormente para el paso de leña a carbón fósil hace más de dos siglos, y no ha sido la única en la vida de la humanidad. El estudio histórico-matemático realizado por el equipo del Dr. Marchetti [43- 44] acerca de las transiciones energéticas-motrices por las que ha pasado la humanidad (agua, leña, uso de carbón mineral, máquina de vapor estática, máquina de vapor móvil, electricidad, petróleo, gas, energía nuclear), muestra que el desarrollo masivo de cada nueva fuente energética o motriz ha requerido de un período aproximado de 55 años, con un error de un 3%. Es impresionante que el comportamiento colectivo de grandes grupos sociales como la humanidad, a lo largo de varios siglos en relación a las fuentes energéticas entre otras cosas, sea dictado por relojes que si no físicos, sí son psicobiológicos, mismos que revelan una estabilidad dinámica insospechada. Un poco más adelante daremos una breve síntesis de la base matemática de su modelo y presentaremos una gráfica relativa a energéticos.

Con base en sus estudios, el Dr. Marchetti llegó a la conclusión, en 1985, de que la sustitución para la energía de origen fósil debiera ser de tipo renovable, y que debiera comenzar su aplicación en el mercado energético con un 1% del total en el año 2025, aunque no especificaba el tipo de energía [45]. Sin embargo, apuntó algunas de las características necesarias con las cuales debería cumplir basado en un estudio histórico de la especie humana. Citamos algunas ideas fundamentales de su trabajo: *Cuando el hombre comenzó a adquirir su identidad como un mono parlante hace unos tres millones de años, su modo de vida no difería mucho de la de cualquier otro animal... Hace 150,000 años el humano cazador-recolector para sobrevivir necesitaba diez kilómetros cuadrados, y actualmente un campesino en China para su alimentación requiere el uso de solo cien metros cuadrados. La razón entre estas dos áreas es de cinco órdenes de magnitud (cien mil veces menor)... el crecimiento de poblados desde hace 10,000 años y la consecuente alta densidad poblacional y el progresivo aumento, si bien lento, del consumo energético per cápita, trajo consigo un gran incremento en la densidad espacial del consumo energético. Esto es la componente esencial de la revolución energética.*

En todo su trabajo el Profesor Marchetti trata de prever el futuro energético y lo relativo a recursos planetarios escasos, y lo hace guiado por lo que la gente o los pueblos hacen y no por lo que dicen o piensan [46]. Considera que la función más importante del sistema nervioso central es la de prever el futuro, y al analizar las acciones de diversos felinos sintetiza su conocimiento en el siguiente principio: *Todas las actividades que buscan prever el futuro suponen la existencia de cosas invariantes en el tiempo de algún tipo; los cuales podemos entonces llamar leyes. Y para ser más general yo diría que el sistema de previsión debe ser auto-consistente.* La técnica utilizada por Marchetti, la cual aborda la previsión en asun-

tos de sistemas sociales, es muy simple, si bien matemática; permite no sólo describir los ciclos energéticos por los que ha pasado la humanidad sino, entre otros, los ciclos productivos de muy diversos satisfactores, como automóviles, la armada de Gran Bretaña, del trabajo publicado de muchos científicos, obras de pintores y escritores famosos [47], y además, le ha permitido describir con mucha precisión asuntos tan específicos como los ciclos temporales con los cuales la Iglesia Católica ha escogido sus santos durante miles de años [48]. El enfoque fundamental de los estudios de Marchetti consiste en que se concentra en indicadores físicos como cantidades medibles, el número de objetos que se miden y conjuntos de fechas en las cuales ocurren los hechos a que hace referencia en sus estudios. El asume que cada sistema, por ejemplo, el sistema energético empleado por la humanidad, se puede descomponer en subsistemas que compiten entre sí por dominar la dinámica general del sistema mayor y, por tanto, en una primera aproximación supone que de manera darwiniana pueden ser descritas por ecuaciones de competencia ecológica del tipo Lotka-Volterra. Lo más interesante de todo es que a pesar de ser ecuaciones muy simples describen muy bien sistemas de enorme complejidad y de gran interacción interna [46].

En particular, para el estudio de las tendencias de largo plazo en los cambios en la demanda de energía, Marchetti [49] estudia tendencias históricas que abarcan por lo menos una centuria. Considera que debemos mantener en mente que el realizar extrapolaciones o pronósticos de largo plazo requiere de ponderar tendencias sociales y económicas dentro de los plazos correspondientes a evaluar.

Marchetti parte de la hipótesis de que las diferentes energías primarias son mercancías que compiten por un mercado, igual que lo hacen las distintas marcas de jabón o los diferentes procesos tecnológicos utilizados para producir acero, de manera

que las reglas de la competencia son las mismas. Utiliza las reglas de Fisher y Pry [48.b], las cuales suponen que la rapidez de cambio fraccional, $1/F dF/dt$, a la cual una cantidad de mercancía, $N(t)$, penetra en el mercado, es proporcional a la fracción del mercado que todavía no ha sido cubierto por dicha mercancía $(1 - F)$.

$$\frac{1}{F} \frac{dF}{dt} = a(1 - F) \quad (4.1)$$

Donde la fracción F , está definida como $F \equiv N(t)/N_{max}$, y N_{max} es la cantidad máxima o total de mercancías que el mercado puede absorber. Esto es, integrando la ecuación (4.1) se obtiene,

$$\ln \left[\frac{F}{(1 - F)} \right] = at + b. \quad (4.2)$$

Donde a y b son constantes, características de la mercancía particular y del mercado. La cual es una expresión lineal normalizada respecto a la cantidad máxima de mercancías absorbible por el mercado. En cuanto a figuras se refiere, usualmente en este marco teórico la constante ΔT es el tiempo que se tarda en ir de $F \approx 0,1$ a $F \approx 0,9$. Este es el lapso de tiempo que toma en desarrollarse el 80 % de la parte central del proceso. La relación entre ΔT y, la ecuación (4.2) es,

$$\Delta T = 4,39/a. \quad (4.3)$$

El valor central T_0 se define como $T_0 \equiv \frac{a}{b} \cdot N_{max}$, usualmente se indica en las gráficas como un número dentro de paréntesis.

Además de la ecuación (4.1), es obvio que podemos obtener una expresión para la cantidad de mercancía, $N(t)$ como función del tiempo,

$$\frac{N_{max}}{1 - e^{-(at+b)}}. \quad (4.4)$$

Con b como una constante de integración al tiempo $t = 0$, y a es una constante de rapidez la cual se supone independiente de la cantidad de mercancía [50]. La expresión (4.2)

tiene la ventaja sobre la ecuación (4.3) de que trabaja con cocientes, por lo cual el efecto de errores absolutos o de escala se minimiza, asunto de suma importancia en temas donde se trabaja con cantidades que provienen de fuentes de información diversas que no obedecen estándares internacionales para proporcionar sus datos. Un ejemplo de la aplicación y

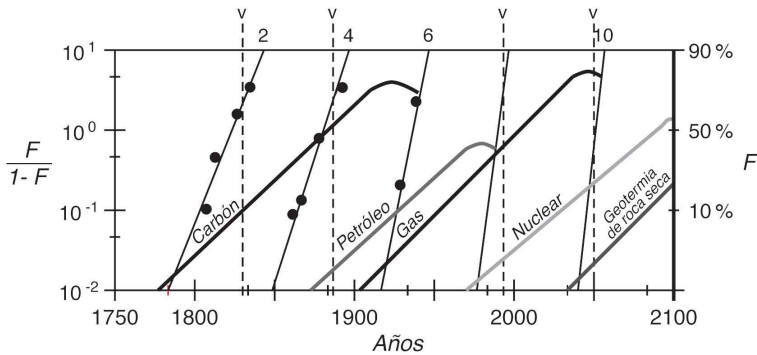


Figura 4.1: Cada onda de innovación se asocia con la introducción de un nuevo tipo de combustible primario en la producción de energía.

utilidad de la ecuación (4.2) se presenta en la Figura 4.1 para el caso de introducción de nuevas fuentes de energía primaria al mercado de la energía. La utilidad del tipo de análisis desarrollado por Marchetti para temas relativos a recursos escasos en el planeta, que en general requieren uso intensivo de energéticos para su desarrollo, queda claro con el siguiente ejemplo graficado para los ciclos de producción del acero, véase la Figura 4.2.

4.3. El Tamaño de las Ciudades, Transporte y Gasto Energético

Basado en el hallazgo de un invariante antropológico [52], Marchetti indica que los humanos, para su desplazamiento, desde la Edad de Piedra acostumbran emplear no más de una hora a pie a una velocidad de 5 km/h. En un trabajo de reciente revisión Marchetti [53] sugiere que las ciudades se organizan por territorios hexagonales de 20 kilómetros cuadrados de área. Y considera que el siguiente nivel de organización es de 6 unidades del mismo tamaño rodeando el núcleo central. El segundo nivel tiene un radio aproximado de 15 km, y el tercero de 45 km; de tal manera que a una velocidad media de auto a 40 km/h los dos primeros niveles de la jerarquía se funden en uno sólo. Afirma también que el 90 % de los viajes diarios en automóviles es de 20 km en Europa; así que los autos son en general un medio de transporte de distancias relativamente cortas comparadas con los trenes. En EUA el viaje diario del 90 % de los conductores es de 48 km [10]. El metro es un medio competitivo respecto al auto pero debido a la gran inversión requerida solo es rentable en zonas de gran densidad poblacional, esto es, en ciudades grandes como México, Nueva York, Londres, entre otras. El parámetro que regula el tamaño funcional de una ciudad es la velocidad media del transporte, el cual se va a ver muy comprometido con el agotamiento de los combustibles fósiles. En México, dentro de las ciudades, se deberá privilegiar el transporte colectivo pues es mucho más eficiente desde el punto de vista energético y de inversión económica en infraestructura de transporte a comparación de los automóviles. Para distancias cortas deberá usarse bicicleta o andar a pie. Los vehículos eléctricos se dedicarán al transporte local de mercancías de los almacenes a las casas.

El problema del transporte de personas y bienes se compli-

ca por el hecho de que la densidad de pobladores por unidad de área dentro de las ciudades decae exponencialmente con la distancia a partir del centro de la ciudad (véase la Figura 4.3, donde se muestra esta variación para Londres en los años de 1971 y 1981). Hasta donde sabemos no se ha encontrado ninguna explicación teórica para este importante hecho. El transporte de personas y bienes a largas distancias deberá ser mediante el uso de trenes rodantes de alta velocidad (350 km/h), y posteriormente en trenes levitados magnéticamente se podrán alcanzar velocidades de más de 500 km/h [54].

4.4. Fuentes energéticas de alta potencia para sustituir a los combustibles fósiles

Del trabajo de Ausubel y Marchetti [55], se aprecia que el crecimiento constante del porcentaje de energía eléctrica respecto a la energía primaria a lo largo del último siglo parte del 1 % hasta llegar a un valor actual del 25 % del total (véase Figura 4.4). Se esperaría que las alternativas energéticas aprovechadas por la humanidad para sustituir a los combustibles fósiles fueran transformadas directamente en electricidad.

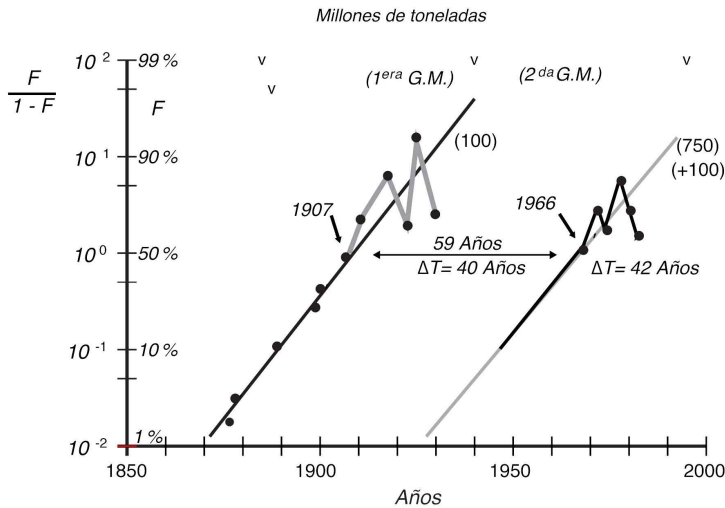


Figura 4.2: Se muestra la Producción Mundial de Acero en los últimos cien años, utilizando dos distintas tecnologías. Se muestran los datos que corresponden a dos ondas de innovación en la producción de acero, en cada recta se presentan oscilaciones bruscas al final de cada ciclo productivo. El tiempo que tarda en llegar al 50% del mercado total con cada técnica es respectivamente de 40 y 42 años. El punto de saturación en la producción con la técnica previa se alcanza cuando la nueva técnica abarca el 1% del mercado total. La primera onda de crecimiento logístico alcanza en 1940 un punto de saturación en la producción de 100 Megatoneladas (MT), y el siguiente se predijo para saturar en 1995 en alrededor de 750 Megatoneladas (+100 Megatoneladas del paso anterior). El resultado experimental para 1995, según cálculos de los autores de este libro tomando los datos de la referencia [51], (los cuales corresponden a Steel Statistical Yearbook, IISI, Laplace Conseil Analysis) arrojan 745 Megatoneladas de acero crudo. La diferencia con el valor predicho por Marchetti es menor al 11%.

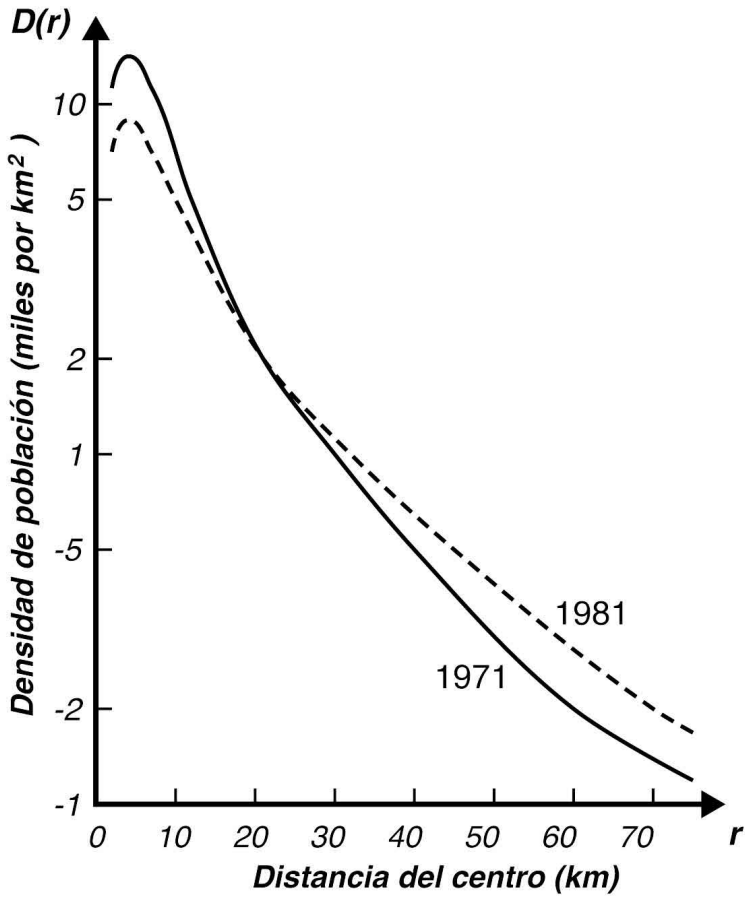


Figura 4.3: Decaimiento de la densidad de población, en la ciudad de Londres.

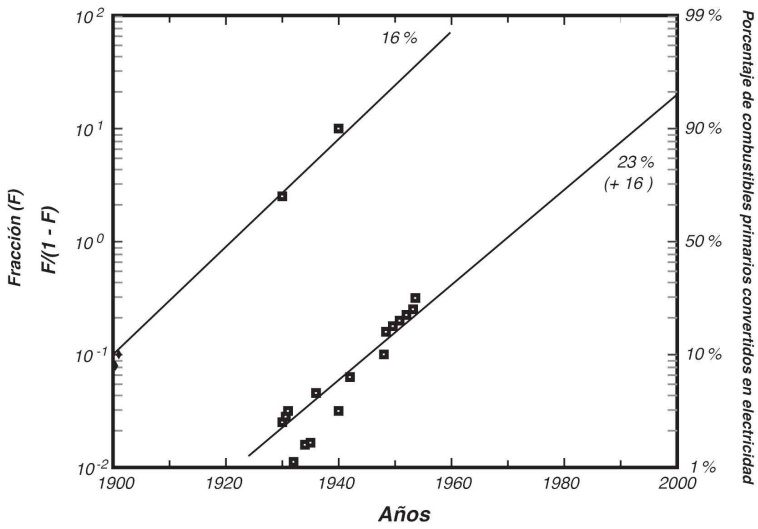


Figura 4.4: Porcentaje de combustible primarios a nivel mundial convertidos a energía eléctrica.

Capítulo 5

Crisis Planetaria, Economía, Capitalismo y Ecosistemas en un Planeta Finito

El capitalismo mundial se enfrenta a una profunda y creciente crisis económica que apunta a ser la crisis final, a pasos acelerados se va transformando en diversas crisis permanentes que amenazan la supervivencia de la humanidad: crisis energéticas y de recursos escasos, ecológicas, alimentarias, de empleo, educativas, culturales, de salud, de vivienda y en general, crisis sociales, políticas, poblacionales y militares que abarcan todo el planeta. Enfrentamos una crisis global y una crisis civilizatoria producto del proceso de descomposición de una civilización caduca, centrada en la búsqueda de la ganancia en beneficio de una minoría. También somos testigos del nacimiento de una civilización que se centra en la satisfacción de las necesidades básicas de la población mundial, así como del reconocimiento de la importancia de mantener la diversidad ecológica necesaria para la existencia de la vida,

considerando el hecho de que el planeta es finito en tamaño y en cantidad de recursos naturales.

En una entrevista realizada al general retirado Leonid Ivashov [56], hoy presidente de la Academia de Problemas Geopolíticos de Rusia, y último Secretario de la Defensa de URSS, afirmó que: *“la esencia de la actual crisis económica se manifiesta en la lucha implacable por los recursos naturales, en los esfuerzos que despliegan las grandes potencias mundiales, sobre todo los Estados Unidos de América, así como algunas empresas multinacionales para someter a sus intereses los sistemas económicos de otros Estados y tomar el control de los recursos del planeta, sobre todo el de las fuentes de aprovisionamiento de hidrocarburos”*, además, declaró que: *“lo más espantoso es que el Terrorismo de Estado tiene mucho futuro debido a la nueva espiral de guerra que hoy se perfila por la redistribución de los recursos mundiales y por el control de las zonas claves del planeta. Dentro de la estrategia de seguridad nacional de Estados Unidos de América, el objetivo abiertamente declarado por Washington es garantizar el acceso a las regiones claves del mundo, a las comunicaciones estratégicas y a los recursos mundiales, mediante la realización de golpes preventivos contra cualquier país”*.

5.1. Dos posibles soluciones a las cuatro grandes crisis que amenazan a la humanidad

Ante tan angustiante situación, existen dos posibles soluciones [57]: La primera, la cual ha sido puesta en práctica por algunas de las naciones más guerreras del planeta, como Estados Unidos de América, es la de que una minoría (de entre

el 5 % y el 10 % de la población mundial) se apodere de los recursos estratégicos del planeta en un intento de preservar a como dé lugar su modo de vida consumista, el llamado American Way of Life. Todo ello disfrazado mediante discursos adornados con bellas palabras y conceptos superiores civilizatorios.

La segunda solución, es la de trabajar por la satisfacción de las necesidades materiales básicas de todos los seres humanos, la cual requiere no sólo una reducción del ritmo de consumo promedio de recursos mundiales per cápita, en especial en los países desarrollados, sino abandonar el modelo económico llamado capitalismo; garantizando al mismo tiempo el cubrir las necesidades básicas de las mayorías pobres y humildes del planeta. Una idea del nivel medio de consumo per cápita que puede aportar el planeta Tierra a largo plazo para lograr que la humanidad actual viva y se desarrolle con dignidad, salud y decoro, es Cuba. Esto se puede lograr mediante la aplicación y desarrollo de tecnologías no extensivas y en la utilización de materiales escasos.

5.2. Crisis final del capitalismo: economía y ciencia en un mundo de tamaño finito.

De acuerdo con Karl Marx, lo que determina en última instancia el desarrollo de los fenómenos políticos, sociales y humanos en el planeta Tierra, es la economía. Un país guerrero y militarista, con una economía poderosa, puede hacer muchas cosas que los países débiles no pueden, por ejemplo, construir misiles y superbombarderos para agredir y someter a otros, desde muy lejos, sin que el agredido pueda defenderse así mismo o a sus recursos valiosos. Tenemos el caso

de Irak, que fue destruido por el Imperio Yanqui desde el aire y regresado a la Edad de Piedra en menos de una semana, para apropiarse de su petróleo con la excusa menos creíble. Una fuente fundamental de poder es, pues, la economía de un país, y si tenemos enemigos poderosos cerca de nosotros es necesario saber si su fuerza económica está estancada, decreciendo o aumentando. Además, es necesario saber cuáles son las fuerzas que cambian su curso para pronosticar su evolución en el futuro y, de ser necesario, prepararnos para cambiar su trayectoria o la nuestra en beneficio de la especie humana. En la civilización actual la ganancia es el motor de la actividad económica. La ecuación básica que gobierna la economía práctica del capitalismo o del socialismo actual (la ecuación que utilizan con nosotros los bancos en todas sus transacciones) es:

$$\frac{dP}{dt} = \alpha P. \quad (5.1)$$

Donde P es por ejemplo el capital o cantidad de dinero que pedimos prestado a un banco a plazo fijo (por ejemplo un año), y por el cual pagamos intereses, dP/dt el cuál es el incremento del capital en ese año, o la ganancia del banco en ese año por nuestro préstamo; y por supuesto α es el porcentaje de interés, o tasa de ganancia que nos exige el banco al hacernos el préstamo.

La ecuación anterior, la cual aporta una curva de crecimiento exponencial, también ha servido para describir de manera aproximada la evolución a largo plazo tanto del crecimiento poblacional humano en la Tierra, como de la producción económica mundial. Por ejemplo, esta ecuación describe bastante bien el uso de los energéticos o del agua por la humanidad a lo largo de más de 250 años; además, es una buena aproximación cuando estamos lejos de haber llegado a las fronteras de un sistema de tamaño finito, como es el planeta Tierra. También sirve para describir el aumento día a día

del peso de un feto humano dentro del vientre materno: crecimiento exponencial. Este tipo de crecimiento a ritmo constante se interrumpe cuando el feto topa con las paredes del útero y es expulsado.

¡Nacemos! ¡Si siguiera creciendo así, a los dos años ocho meses de nacido llegaría a ocupar el espacio que existe entre la Tierra y el Sol que es de 150 millones de kilómetros!

Todos sabemos que aunque el agua dulce o potable es un recurso que se renueva diariamente sobre el planeta, mediante la acción de la luz solar sobre los mares, resulta que la cantidad anual de agua dulce aprovechable es finita. Aumentar la disponibilidad de este recurso por encima de su límite físico natural implica que la especie humana debería incrementar el uso de energía para obtenerla. ¿Por qué ocurre esto? Porque estamos llegando a los límites de producción de agua dulce del ecosistema llamado Tierra y, cuando esto sucede, entonces ya no se obedece la ecuación (5.1). Llegará el momento en que aún con un incremento en el uso de energía y de inversiones, ya no podamos construir más presas y ocurrirá que las pérdidas por evaporación y/o por filtración hacia el subsuelo limitarán el incremento en el consumo de agua. Para este tipo de situaciones la ecuación correcta para describir el sistema será:

$$\frac{dP}{dt} = \alpha P - \beta f(P). \quad (5.2)$$

Donde el término negativo $\beta f(P)$ corresponde a lo que la naturaleza requiere de la especie humana para seguir trabajando de manera igual sin límite en el tiempo. Cuando los dos términos de la derecha en la ecuación anterior se equilibren habremos llegado al límite superior en nuestro consumo total anual de agua dulce en el mundo. Esto no sólo pasa con el agua dulce, de manera similar ocurrirá con cualquier otro recurso o mercancía que use o produzca la humanidad, y con su misma población. ¡Todo crecimiento tiene sus límites!

Y entre más complejo es un sistema productivo como una empresa de alta tecnología o uno de represas, más fácil es que diferentes partes y componentes del mismo envejezcan, se descompongan y debamos darles mantenimiento; lo que reduce paulatinamente la tasa global de ganancia promedio, hasta que con el desarrollo de las fuerzas productivas en el planeta, eventualmente se llegará a una situación en la cual la ganancia total de toda la esfera productiva de la humanidad sea cero. Llegada esa situación, lo que se produzca será para reemplazar lo que se desgastó en el ciclo económico previo, y los únicos cambios que vendrán después ocurrirán por la vía de la ciencia y la tecnología. Lo anterior implica la caída por quiebre económico del sistema capitalista. Esta es la manera en que se alcanzará una economía sustentable en un mundo de tamaño finito, no existe otra forma. Para sobrevivir como los 7,000 millones de seres que formamos la humanidad actual en un plano de igualdad y justicia, será necesario impulsar globalmente, en armonía con los ecosistemas planetarios, la propuesta económico-política del humanismo científicamente sustentable.

Los profesionistas, científicos, técnicos, sabios humanistas y políticos se enfrentan al creciente dilema de apoyar con sus talentos la sustentabilidad científico-humanista de la vida en el planeta o ponerlos al servicio del capitalismo que promueve el proyecto mundial del consumismo que busca no sólo convertir a todo ser humano en consumidor insaciable, sino transformar todo lo que esté al alcance, sea salud, cultura, educación y ecosistemas, en mercancías accesibles sólo para quienes puedan pagar por ellas. En otras palabras, tendrán que escoger entre trabajar por una Civilización con la vida planetaria como centro y otra caduca y moribunda que aspira a mantener la máxima ganancia a toda costa, poniendo en grave riesgo la vida de la humanidad y de los ecosistemas aún existentes.

Así, hemos visto que en el mundo real la tasa de ganancia global de la economía mundial tiende a disminuir por una razón sencilla: todas las máquinas e instalaciones de producción se vuelven cada vez más sofisticadas y complejas, necesitan menos trabajadores para su manejo óptimo y requieren de mantenimiento para seguir operando. En cuanto a los ecosistemas del planeta, de los cuales depende la economía y la vida, han sido sobreexplotados y dañados de muy diversas maneras y necesitan inversión y cuidados permanentes para su necesaria restauración. En otras palabras, el cociente de la ganancia total dentro de un ciclo económico mundial dP/dt , dividida por el capital físico real mundial P , representado por máquinas e instalaciones fabriles va disminuyendo conforme avanza la economía de la humanidad ayudada por el avance de la ciencia y la tecnología.

Capítulo 6

Disminución de la Tasa de Ganancia, Ciclos Económicos y Posibles Conflictos a Nivel Mundial

6.1. Tasa de ganancia

La tasa de ganancia en un período la define Karl Marx en *El Capital* como la proporción entre la ganancia o plusvalía, y la suma del capital constante invertido y el capital variable correspondiente a los salarios. En ese libro establece la “ley de la baja tendencial de la tasa de ganancias” [58]. Según Marx, a pesar de que la baja de la tasa de ganancia se contrarresta a corto plazo mediante el aumento del desempleo que baja los salarios, la destrucción de capitales o debido a las guerras; existe una tendencia de largo plazo a la baja en la tasa de ganancia, como resultado de la innovación tecnológi-

ca de los medios de producción y el incremento en el costo de las plantas de nueva tecnología, que se ven obligados a llevar a cabo los capitalistas en su competencia por alcanzar porciones mayores del mercado.

La tasa de ganancia se define como el cociente de la ganancia total dentro de un ciclo económico dP/dt , dividida por el capital físico real P ,

$$\alpha = \frac{1}{P} \left(\frac{dP}{dt} \right), \quad (6.1)$$

donde α puede tener dos tipos de valores: aquellos ligados a la producción industrial y agrícola y los ligados a la actividad especulativa y exproliativa del sector financiero.

En lo que sigue nos referiremos a los valores de la tasa de ganancia $\alpha_{AgroInd}$ ligados a la producción de bienes en los sectores industrial y agrícola. Este primer valor está determinado por la naturaleza a través del estado real de desarrollo de la economía productiva sin que sea posible alterarlo; mientras que un segundo valor de la tasa de ganancia $\alpha_{FinanBanc}$ puede ser cambiado por los financieros a su conveniencia pues es un mecanismo bancario de transferencia de la ganancia real producida por los sectores industrial y agrícola hacia el sector bancario al solicitar un préstamo; esta es la tasa de ganancia de la usura. Por ejemplo, la tasa de crecimiento de la economía real en México es del 3.5 % en un año, la cual está cerca de la tendencia mundial promedio de 3 % anual [59], y en ese mismo año la tasa de ganancia que exige un banco por un crédito a través de una tarjeta de crédito es del 45 % o más. En la Figura 6.1. Se muestra la tasa de ganancia en EUA a largo de más de cien años. La línea a mano alzada se dibujó sólo para propósitos de ilustrar la baja tendencial de la tasa de ganancia. Datos del economista Chino Dr. Minqi Li [60]. En la figura es claro que la tasa de ganancia promedio a nivel mundial ha venido disminuyendo desde hace por lo menos 110 años, lo que significa que un capitalista debe invertir

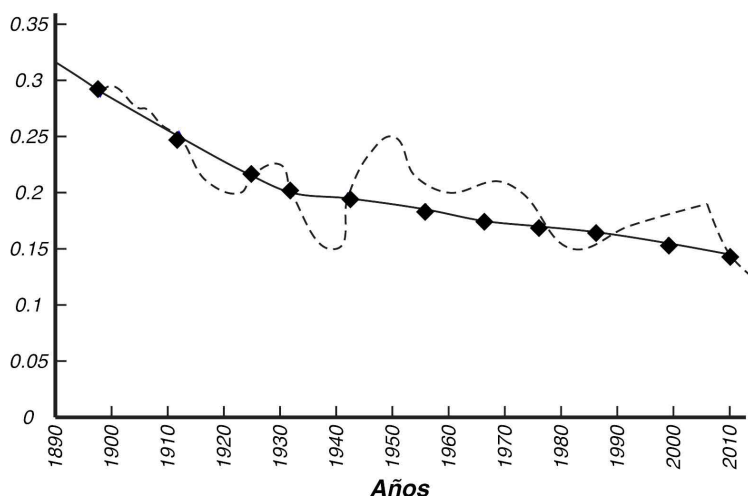


Figura 6.1: Variación temporal de la tasa de ganancia en EUA de 1890–2006 (línea de trazo). Promedio de esta ganancia cada diez años (línea sólida).

cada vez más para obtener la misma ganancia, ello ocurre de manera tendencial pues, puede observarse la existencia de ondas en el desarrollo económico. Lo anterior explica el incremento de las contradicciones económicas, políticas y sociales de la humanidad durante el siglo XX, y su extrema agudización en la primera parte del siglo XXI. Sabemos que el sector oligopólico-financiero de la economía se defiende contra esta caída de la tasa de ganancia a través del uso del ejército de EUA y de la OTAN, del control de los principales centros financieros del planeta, y mediante el control oligopólico de productos y servicios de tipo esencial para la humanidad; lo cual les permite fijar precios y tener una tasa de ganancia por arriba del promedio mundial.

Sabemos que la sobre-ganancia del sector oligopólico-monopólico-financiero es igual a la disminución de la ganancia del sector no monopolista a nivel mundial. En la crisis ac-

tual esa transferencia de recursos económicos del sector no oligopólico al oligopólico tiende a acentuarse. Las consecuencias de dicha transferencia son varias: conforme cae la tasa de ganancia real, se agudiza la lucha entre los grandes capitalistas de diversos países por apropiarse de las riquezas ajenas, en particular de las fuentes de hidrocarburos y de los recursos naturales estratégicos, entre ellos agua y territorios. Asimismo, incrementa la explotación y la miseria de las grandes masas, aumentan las quiebras de las industrias y comercios del sector no oligopólico, y se acelera la concentración del capital. Además, se producen guerras de rapiña por recursos valiosos en posesión de países no desarrollados económica y militarmente; y se pone en peligro de extinción la vida en el planeta debido a los riesgos de una probable guerra nuclear desencadenada por Estados Unidos de América.

6.2. Ciclos económicos a nivel mundial

La economía mundial, como muchos de los procesos que ocurren a nuestro alrededor, obedece ciclos. Como en la naturaleza, podemos observar fenómenos diarios, acontecimientos solares anuales, o simples ciclos biológicos, entre otros ejemplos, como en las actividades diarias de los seres humanos: comemos y con ello ganamos energía, mediante el uso de esos nutrientes realizamos trabajo y por tanto nos cansamos; esto es, transformamos la energía almacenada en nuestro cuerpo en trabajo que empleamos en conseguir los recursos que nos van a permitir comer en la siguiente parte del ciclo de la vida, y así sucesivamente. En la actividad económica de todos los seres humanos del planeta, por ganarnos la vida, se presentan dos tipos de ciclos económicos importantes. Unos, llamados ciclos de Kondratiev [44], tienen una duración de 55

años y están relacionados con los macro cambios tecnológicos de innovación o cambios tecnológicos que inciden de manera fundamental en la actividad económica –y esa es la duración esperada para lograr la transición al uso de energéticos no-fósiles por los mexicanos y latinoamericanos–. Si trabajamos con inteligencia y decisión podremos desarrollar a escala industrial los energéticos que sustituyan a los hidrocarburos que ya se encuentran en acelerado proceso de agotamiento, aprovechando el capital que aporte PEMEX, o las correspondientes empresas energéticas, de otra suerte, y dado que no estamos exportando otra cosa que petróleo, vamos a regresar a la Edad de Piedra y la población va a reducirse abruptamente en 90 %, sí, en un 90 % y en un período breve. Otros ciclos, llamados de Kuznets [61], tienen una duración de 25 años y están relacionados con la necesidad que tiene cada generación de renovar la infraestructura o las máquinas que se emplean y se desgastan durante su operación la producción (sin realizar grandes cambios tecnológicos). Según han visto los autores de este libro, los ciclos de Kuznet también están relacionado con la periodicidad que existe entre las grandes guerras emprendidas por las potencias capitalistas en su intento por arrebatar recursos estratégicos a otros pueblos. La teoría de ciclos económicos de Kondratiev [44] está relacionada con cambios tecnológicos grandes que inciden de manera fundamental en la actividad económica, como son: El Primer ciclo de Kondratiev (Primer ciclo-K) inicia alrededor de 1800, y corresponde a la introducción masiva de las máquinas estáticas de vapor utilizada en muchas industrial principalmente en la industria textil, este ciclo termina aproximadamente en 1855. El Segundo ciclo-K inicia en 1855, y corresponde a la introducción del ferrocarril de vapor y el acero a nivel masivo lo cual produjo un profundo efecto en la producción y el transporte de mercancías y personas, dicho ciclo termina alrededor de 1910. El Tercer Ciclo-K se debe a la introducción y uso masivo del motor eléctrico y la ingeniería química

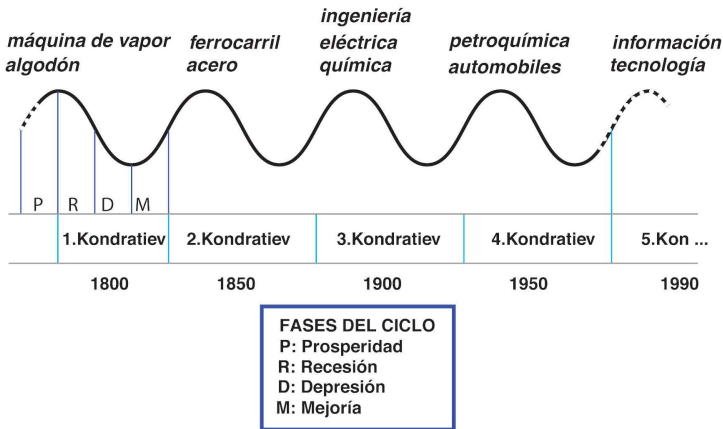


Figura 6.2: Ciclos de Kondratiev.

en la producción industrial, y termina alrededor del año de 1965. El Cuarto ciclo-K es producto de la introducción de la petroquímica y el uso masivo del transporte alimentado por combustibles fósiles; el uso de los autos de combustión interna promovió el crecimiento gigantesco de ciudades; es producto también de la introducción masiva de la informática y la robotización industrial que ha aligerado el trabajo humano, a la vez que ha desplazado gran cantidad de trabajadores, el cuarto ciclo termina alrededor del año 2020. Finalmente, el proceso de sustitución de fuentes de energía fósiles por fuentes renovables para mover la economía constituye el Quinto ciclo-K en la historia moderna, el cual durará aproximadamente de los años 2020 hasta los años 2075.

6.3. Ciclos de Kuznets y grandes guerras.

Si tomamos las fechas de inicio comúnmente aceptadas para las grandes guerras del siglo XX (Primera Guerra Mundial, Segunda Guerra Mundial, invasión de EUA a Vietnam, y primera invasión de EUA a Irak o Guerra del Golfo Pérsico), podemos construir la Figura 6.3. El análisis de la misma muestra que en promedio las grandes guerras están separadas por lapsos de 25.3 años. El ajuste lineal tipo: $y = a + bx$. Aportó los siguientes valores: $a = 1889.3$ años, $b = 25.3$ años, $r^2 = 0.999965$.¹

Por extrapolación se esperan dos grandes guerras en fechas próximas: la primera para fines del año 2015 y la segunda para fines del 2040. Se considera altamente posible una invasión militar de EUA sobre Venezuela (que posee 25 % de las reservas mundiales de petróleo), así como el aseguramiento del petróleo mexicano por parte del imperio yanqui antes de que el mismo desencadene una guerra mundial en Medio Oriente para disputar el 66 % de las reservas mundiales de petróleo que existen allí. De acuerdo con el General Konstantin Sivkov, vicepresidente de la Academia de Asuntos Geopolíticos de Rusia, se esperaba el estallido de una nueva guerra mundial por los recursos energéticos de Medio Oriente hacia fines del año 2014. Según el análisis del General la guerra durará entre 6 y 35 años, en el caso de no ser nuclear, e intervendrán 100 millones de seres humanos y las bajas ascenderán a centenares o miles de millones de seres humanos. La labor de todo ser humano debe ser evitar de todas las maneras po-

¹Análisis realizado por los autores de este libro en el año 2011. Véase: *Evolución de la Situación Internacional*, Jorge A. Montemayor Aldrete, Porfirio Martínez González, Marcelo del Castillo Musset y Pablo Ugalde Vélez. 18-25 Enero de 2013. <https://es.scribd.com/doc/56974220/Documento-Completo-Evolucion-de-la-Situacion-Internacional>

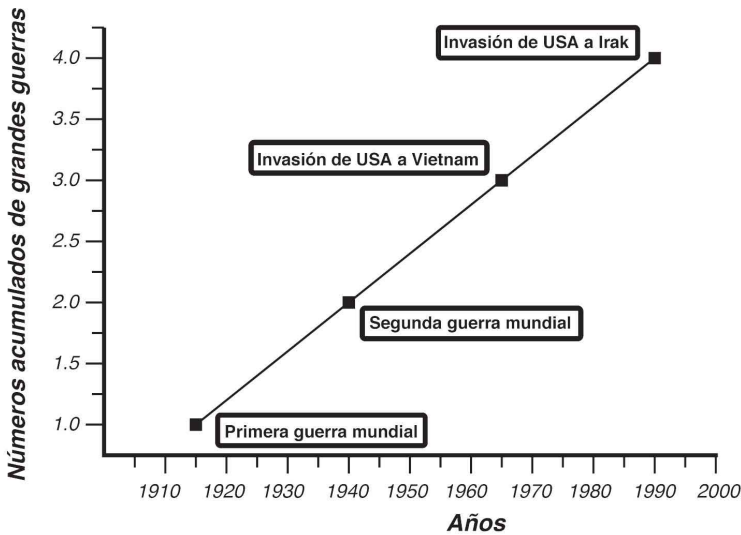


Figura 6.3: Grandes Guerras como función del tiempo. Hemos encontrado que existe un ajuste de la forma $y = bx + a$.

sibles que se desate dicha guerra, que puede poner en grave riesgo la supervivencia de la humanidad. (*World War III Has Already Begun*. 25/03/2010. http://english.pravda.ru/world/americas/25-03-2010/112718-world_war_three-0/).

A diferencia del trabajo de Marchetti sobre modelos matemáticos y guerras que abarcan un período de 1730 al año 2000 [63] (véase la figura 6.4), nuestro trabajo no sólo ajusta las últimas cuatro grandes guerras, sino que predice linealmente la probable ocurrencia de dos futuras guerras mundiales. Si consideramos el número de muertes que ocasionaron la Primera y la Segunda Guerra Mundial, con 40 y 60 millones de muertes, la invasión de EUA a Vietnam (6 millones de muertes) y en la Guerra del Golfo Pérsico o primera invasión de EUA a Irak (2 millones de muertes), podemos notar que las guerras más cruentas ocurrieron en épocas donde la tasa de ganancia es inferior a la curva promedio: la Primera

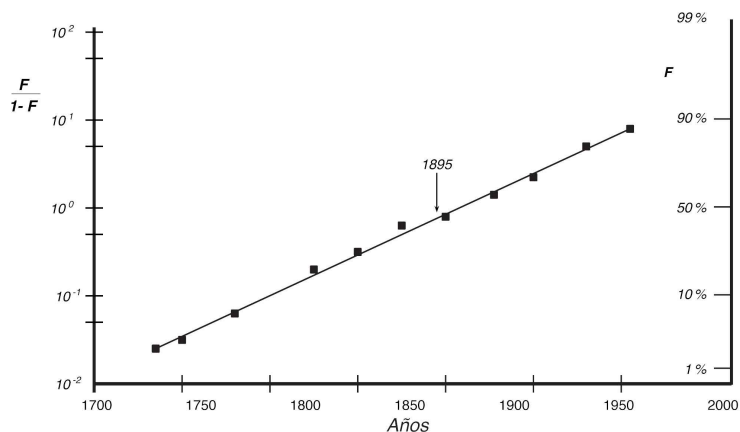


Figura 6.4: Densidad de conflictos mundiales como función del tiempo.

y Segunda Guerra Mundial. Por su parte las guerras que han ocurrido cuando la tasa de ganancia general está por encima de la curva promedio son relativamente poco sangrientas. Es de esperarse que las próximas dos guerras sean muy violentas (esperadas la primera para fines del año 2015, y la segunda para fines del 2040, y si es que la especie sobrevive a la del año 2015, el papel de la Alianza de Civilizaciones será fundamental para evitar guerras nucleares con poder de exterminio de toda la Humanidad).

6.4. Análisis de los ciclos de Kuznets y sus implicaciones para la supervivencia de la humanidad

Nuestro análisis de la Figura (6.1) es el siguiente:

1. Se observan cuatro ciclos de Kuznets cada uno de du-

ración aproximada de veinticinco años, a saber: El que va de 1910 a 1935, el segundo de 1935 a 1960, el tercero de 1960 a 1985, el cuarto de 1985 a 2010. NOTA: Dichos ciclos se presentan alrededor de una tendencia a la disminución de la tasa de ganancia, indicada cualitativamente por la línea continua dibujada a mano.

2. Primer ciclo de Kuznets (1910 a 1935). La Primera Guerra Mundial comienza en septiembre de 1914 (Cinco años después del comienzo del primer ciclo de Kuznets, según los hemos denotado en el punto anterior), durante la primera parte del primer ciclo de Kuznets y corresponde a la caída local en el tiempo de la tasa de ganancia; el 25 de octubre de 1917 se funda la Unión de Repúblicas Soviéticas Socialistas, la guerra mundial termina en septiembre de 1918; y a partir de allí los siguientes 12 años, dentro de EUA, son de crecimiento hasta el famoso jueves negro, 24 de octubre de 1929 día en que estalla el crack financiero.
3. Segundo ciclo de Kuznets (1935 a 1960). La Segunda Guerra Mundial comienza en septiembre de 1939 (Cinco años después del comienzo del segundo ciclo de Kuznets), y termina a fines de agosto de 1945; la fase de crecimiento en la tasa de ganancia para EUA comienza desde su preparación para intervenir en la Guerra alrededor de 1940 y dura hasta la mitad de 1953 en la cual se presenta una recesión debida al déficit, del gobierno estadounidense, por la guerra imperialista de intervención en Corea que habían comenzado en 1951 y que terminó en 1953. Casi cuatro años después del término de la segunda Guerra Mundial, el primero de octubre del año 1949, se proclama La República Popular China.
4. Tercer ciclo de Kuznets (1960 a 1985). La guerra de invasión imperialista sobre el pueblo de Vietnam por

parte de Estados Unidos de América (Como líder militar del imperialismo global formado por EUA, Europa y Japón) comenzó a principios de 1965 (Cinco años después del comienzo del tercer ciclo de Kuznets) y su continua y creciente intervención terminó en agosto de 1973. Entre las causas reales del fin de esta guerra de intervención imperialista estuvieron, la extraordinaria defensa del pueblo Vietnamita en defensa de su independencia y soberanía, el tremendo e insostenible déficit del gobierno estadounidense y la crisis económica mundial que se desencadenó por el encarecimiento repentino de los precios del petróleo en octubre de 1973; llamada la “crisis del petróleo”. Las fases de crecimiento de la tasa de ganancia de este ciclo para EUA están separadas, una primera fase con duración de ocho años entre 1965 y 1973 asociados a la guerra de Vietnam; y una fase de tres años de duración entre 1982 y 1985 asociadas con el despegue de la imposición, por parte del Imperio Global, de la guerra económica contra los pueblos del mundo. Dicha guerra política-económica tenía el propósito no declarado pero si aplicado de elevar la tasa de ganancia de los imperialistas a costillas de la vida y sufrimiento de los pueblos del planeta Tierra. A dicha política se la ha bautizado como “Neo liberalismo”.

5. Cuarto ciclo de Kuznets (1985 a 2010). La guerra llamada del Golfo Pérsico (“The Persian Gulf War”) emprendida por parte de Estados Unidos de América comenzó el 2 de agosto de 1990 (Cinco años después del comienzo del cuarto ciclo de Kuznets) configurándose como una guerra relámpago que terminó el 28 de febrero de 1991. El objetivo económico político no declarado de dicha guerra fue asegurar el control del sesenta y seis por ciento de las reservas mundiales de petróleo. Esta

política económica y militar fue continuada mediante el auto atentado general del 11 de septiembre del año 2001, la invasión a Afganistán comenzó el 7 de octubre de 2001 y la invasión de Iraq comenzó el 20 de marzo del 2003. Este ciclo de Kuznets que termina en el año 2010, ha tenido muchos años de crecimiento en la tasa de ganancia gracias entre otras cosas a su política militarista y el efecto que a corto plazo tiene el apoyarse en un presupuesto deficitario ocasionado por el gasto militar que sufraga el resto del mundo (23 años de crecimiento, dentro de una tendencia general y tecnológicamente inevitable a la caída de la tasa de ganancia). La Gran crisis actual reflejada en la caída de la tasa de ganancia lleva apenas alrededor de dos años; por lo que es de esperarse muchos años más de caída en la tasa de ganancia, debido a la imposibilidad de continuar gastando eternamente más de lo que produce la economía estadounidense, pero esto lo trataremos en lo que esperaríamos para el siguiente ciclo.

6. Quinto ciclo de Kuznets (2010 a 2035). Predicciones iniciales e implicaciones generales:

- a) Sí se repitiese la necesidad del sistema político económico Estadounidense de los últimos cuatro ciclos de Kuznets esperaríamos una gran guerra de rapiña imperialista comandada por EUA para estallar alrededor de fines del año 2015. Dado que las últimas guerras han sido por asegurar un elemento estratégico que se está agotando rápidamente, el petróleo, los posibles sitios de guerra por orden de importancia serían Medio Oriente y América Latina. Podemos suponer que conforme se debiliten económicamente, los Estados Unidos de América perderán poder de adquisición respecto al petróleo

de Medio Oriente, debido al creciente empuje de economías como las de China, India y Rusia; que tan rápido disminuya su capacidad militar es otro cantar. Es previsible que EUA tratará de apropiarse de manera definitiva del petróleo de Medio Oriente, y para mantener “sus reservas estratégicas” y tener asegurado el petróleo mientras hace la guerra en Medio Oriente contra China, Rusia e India. Otro objetivo fundamental de dicha guerra será el de apropiarse del territorio de Siberia (en Rusia), pues debido al calentamiento global puede convertirse en una importante zona de producción de granos en el Siglo XXI, además de tener una cantidad considerable de recursos energéticos y minerales aun no explotados. También es posible que aumenten su presión político-militar sobre fuentes energéticas en Latino América. O tal vez, desde un punto de vista estratégico, se esperaría una invasión militar de EUA sobre Venezuela (25 % de las reservas mundiales de hidrocarburos) y tal vez una invasión a México (por los hidrocarburos locales y para controlar la frontera sur de EUA) antes de que se desate la Guerra Mundial en Medio Oriente, la cual ocurrirá presumiblemente a finales del 2015.

- b) Además en el marco del calentamiento global, se esperará un énfasis de EUA en el control de fuentes directas de energéticos o de agua para cultivar biocombustibles a costa de la muerte por hambre de millones o decenas o centenas de millones de seres humanos latinoamericanos.
- c) Debido a la larga duración de la crisis actual, ni Europa ni Japón subvencionarán un gasto militar deficitario de EUA por grandes períodos, por ello

podría ser que las siguientes intervenciones militares menores del imperio estadounidense se reduzcan a destruir y regresar a la Edad de Piedra a los enemigos que pongan en riesgo sus intereses estratégicos atacándolos sólo por aire mediante guerras relámpago (Blitzkrieg); con la intención de que una vez devastados no puedan poner resistencia a que EUA opere los campos con recursos de su interés.

- d) La tasa local de explotación de los pueblos subordinados económica y políticamente a EUA seguirá aumentando con el tiempo pues estamos en una crisis de duración mínima de doce años más; y los oligopolios y monopolios con matriz en Norteamérica (49 de 50 de las más grandes empresas del mundo) tenderán a fijar precios en sus productos que extraigan plusvalía de los otros sectores económicos no monopolizados, llevando y presionando a los pueblos subordinados, a un estándar disminuyente de vida hasta la extinción. Mientras, a los pequeños y medianos industriales de dichos países serán condenados a la desaparición paulatina por quiebra económica, tanto por la política interior de precios, como por la política tributaria de expoliación a favor de los grandes oligopolios y monopolios promovida por los políticos locales sirvientes de EUA.
- e) Todo sugiere que, es correcta la política de diversos países de Latinoamérica (como Venezuela), China, Rusia o India de reforzar sus sistemas de defensa militar debido a que el ejército y las bases militares de los EUA están emplazados en preparación a una guerra para tomar el control de fuentes de recursos biológicos y energéticos cercanos.

- f)* Que si suponemos que los ciclos económico-políticos de Kuznets como los hemos manejado aquí para el caso de EUA reflejan lo esencial de la realidad para el mundo podemos considerar un promedio de los primeros cuatro ciclos para la fase decreciente de la tasa de ganancia y extrapolar que la siguiente fase de caída local en el tiempo en la tasa de ganancia durará un mínimo de doce y trece años de los cuales han pasado tres. Por otro lado es claro que las economías de China, Rusia e India dentro del BRICS, no han sido muy afectados por la crisis económica global que comenzó en 2009, y son un sector muy dinámico de la economía mundial ya que tiene un ritmo de crecimiento de más del doble del promedio del conjunto formado por Europa, Estados Unidos de América, Canadá y Japón.
- g)* En sus intentos militares por controlar recursos ajenos, EUA tendrá cada vez menos recursos económicos que le permitan sostener destacamentos por tiempos prolongados en lugares lejanos a su territorio. Tendencialmente, los recursos energéticos fósiles (por su creciente escasez) irán subiendo de precio y encarecerán sus invasiones o ataques militares. La posibilidad de un zarpazo final del tigre debilitado es un peligro potencial para la supervivencia de la humanidad contra el cual hay que estar preparados. Sin embargo, hay que tener en cuenta que a menor oposición, mayor será el despojo de los recursos valiosos que sufrirán los pueblos del mundo por parte del imperio; y si nos dejamos expoliar será cada vez más difícil construir nuestra alternativa global para desarrollar las fuentes energéticas post-fósiles necesarias para desarrollarnos y vivir con decoro y dignidad en

equilibrio con los ecosistemas planetarios.

Un asunto que debemos tener muy presente los pueblos de América, ante las posibilidades de intervenciones militares de los Estados Unidos de América en los territorios de Latinoamérica y el Caribe es el tomar en cuenta lo siguiente:

En 1973, Richard Nixon, Presidente de EUA y Henry Kissinger Secretario de Estado en aquellos años, decidieron desarrollar una geopolítica de narcotráfico basada en proporcionar de manera controlada por el gobierno norteamericano drogas duras (cocaína) al sector del pueblo gringo que no podría ser asimilado plenamente dentro del esquema socioeconómico vigente al cual le veían limitaciones en sus posibilidades de crecimiento. La idea, si bien sencilla ha sido muy efectiva: Al sector del pueblo americano al cual el sistema de dominación imperial no le pudiera satisfacer las necesidades básicas se le daría una salida falsa, evasiva, a través de las drogas.

Como subproducto esta política clasista contra los pobres del pueblo norteamericano el Estado Norteamericano obtuvo las siguientes ventajas:

1. La política era autofinanciable internamente por cuanto los fondos para su desarrollo serían aportados por sectores que se convertirían en drogadictos, o por aquellos que tuviesen bienes que pudiesen ser robados para pagar las drogas.
2. Proveería al Estado gringo de gigantescos fondos económicos, no controlables por el Congreso, para promover movimientos encubiertos militares y políticos en contra de regímenes no obedientes a las órdenes del Imperio Global en cualquier lugar del planeta. De acuerdo con este cruel, torcido y sutil mecanismo los pobres de Estados Unidos de América proporcionarían, al Estado Americano, directamente parte de los fondos para atacar a los

pobres en otras regiones del mundo, y permitir arrancarles sus recursos estratégicos y territorios.

3. Sería uno de los principales pretextos del Imperio comandado por los yanquis para intervenir militarmente en cualquier punto del planeta por donde pasara el flujo de la droga.
4. Sería un extraordinario negocio para los capitalistas y financieros gringos, que ayudarían al gobierno de su país a implementar y controlar este negocio como parte de una política de estado.

Destacados gobernantes latinoamericanos han señalado el uso por el gobierno de EU del narcotráfico con fines de dominación político-económica:

En diálogo con los delegados a la Primera Conferencia Sindical de América Latina y el Caribe sobre la Deuda Externa celebrada en La Habana en julio del año 1985, Fidel Castro expresó: *“... el narcotráfico lo creó Estados Unidos, lo creó el imperialismo, la sociedad de consumo, con ese dinero que nos roban, con ese dinero que nos saquean; una parte la invierten en armas y otra en drogas. Y ellos fueron los que crearon el mercado, la infraestructura de las drogas, todo ese aparato: los aviones son yanquis, los barcos son yanquis, los comerciantes son yanquis, los que tienen montado todo ese engranaje son ellos”* Al clausurar el Foro Social de las Américas el 15 de agosto del 2010, el Presidente de Bolivia Evo Morales afirmó: *“El Imperialismo busca dominarnos y someterarnos. Con el pretexto de la lucha contra el terrorismo y el narcotráfico busca adueñarse de nuestros recursos naturales”*. En el mismo sentido se ha expresado el Presidente de Nicaragua Daniel Ortega, quien el 29 de enero del 2014 desde Cuba, denunció que: *“El narcotráfico y el crimen organizado que opera en Centroamérica busca llevar a cabo golpes de Estado en las*

naciones de esa región, por la vía de las grandes cantidades de dinero que estos carteles manejan, con el propósito de tomar el poder en esos países”. Lo anterior según información del Correo del Orinoco de la República Bolivariana de Venezuela. En un artículo titulado “La CIA actúa contra el presidente Rafael Correa con dinero del narcotráfico” Publicado: 2 feb 2013 véase <http://actualidad.rt.com/actualidad/view/85474-CIA-Ecuador-complot-Correa> Se menciona que: “WikiLeaks filtra la entrevista exclusiva con el periodista chileno Patricio Mery, quien afirma que la CIA conspiró activamente para desestabilizar al Gobierno ecuatoriano e incluso asesinar al presidente Rafael Correa. Tras las firmes decisiones del mandatario ecuatoriano, sobre la concesión de asilo político a Julian Assange y el cese de la actividad de la base militar estadounidense en Manta, EE.UU. no ha escatimado esfuerzos para causar perjuicio al Gobierno ecuatoriano”, según Mery. El periodista chileno subraya que la CIA encubre y financia actividades ilícitas con recursos del narcotráfico realizadas por la Policía de Investigaciones de Chile. Desde Bolivia cada mes entraban a Chile “unos 200 kilos de cocaína” con el fin de obtener fondos para luego financiar las operaciones Anti-Correa. Y así podríamos seguir; Por otro lado, el filósofo español Eduardo Subirats [28] promovido a exiliarse por sus críticas a la política imperialista de su gobierno afirma: “El imperio estadounidense se resquebraja, con consecuencias aún inimaginables...la violencia desahogada en México es parte de una intencionalidad global... sobre el papel de los intelectuales (debiera ser) analizar dicha realidad es la condición sin e qua non para resolverla, y no se hace. No sé dónde están esos intelectuales mexicanos. ...La razón de la violencia en América Latina siempre ha sido la ocupación territorial, el avasallamiento y el expolio”.

6.5. Las amenazas de invasión militar del Imperio a México con el pretexto del narcotráfico.

A unos días de que Obama tomara posesión en Estados Unidos de América, Michael Chertoff, Secretario de Seguridad Interna de Estados Unidos de América durante una entrevista concedida al diario The New York Times, el 7 de enero del año 2009 afirmó que: Estados Unidos completó ya un plan de contingencia para su frontera sur, con la finalidad de prepararse ante la violencia generada en México por el narcotráfico. La iniciativa incluye, afirmó: la movilización de elementos de seguridad civil y militar, así como la utilización de aviones, vehículos blindados, tropas y equipos especiales que convergerían en puntos problemáticos de la frontera, y cuyo tamaño y fuerza se determinaría de acuerdo con la magnitud del problema en cuestión. El secretario afirmó que pondrían en acción no sólo a los elementos de su Departamento, sino también podría disponer en su caso de los del Departamento de Defensa; ¡los militares de EUA interviniendo en México pues!

6.6. El lavado de dinero del narcotráfico, dentro de Estados Unidos de América.

El valor anual de mercado de la cocaína vendida dentro de Estados Unidos es aproximadamente de 380,000 millones de dólares. Se estima que los fondos que manejan los narcos en México son alrededor de 24,000 millones de dólares por

año de los cuales entre 5 y 8 mil son para los productores colombianos. La DEA se queja de que ninguna institución financiera “mexicana” ha sido sancionada públicamente por lavado de dinero; en todo caso se les olvida a los americanos que las instituciones financieras en México son EXTRANJERAS y varias gringas o inglesas. “¿Así señores que quien lava el dinero grande del narcotráfico en México? Y el garbanzo de a libra es ¿Cómo se lavan 380,000 millones de dólares del narcotráfico de EUA en las instituciones financieras dentro de Estados Unidos de América sin que nadie se dé cuenta?” Pensemos que se requeriría que 380,000 personas depositaran cada una de ellas un millón de dólares cada año sin llamar la atención cuando el límite legal por depósito sin asentar datos en un documento es de 10,000 dólares. ¡Dios bendito, no cabe duda los yanquis viven en el país de los milagros; y en el paraíso para los billetes invisibles del narcotráfico: Una pila de billetes de un tercio del tamaño del Empire State, o del tamaño de la Estatua de la Libertad, o de las dimensiones del obelisco a Washington y nadie ve nada!!! Y los expertos como el antiguo subsecretario del tesoro (EUA), James Johnson, en 1999 se atreven a decir que *los empleados de caja en los bancos de estados Unidos deben ser entrenados para reportar actividades sospechosas realizadas por las mismas personas que depositen cantidades inferiores al límite legal de manera frecuente*. Y además ese señor afirma que “la falta de agresividad en México en contra del lavado de dinero del narcotráfico podría contribuir a la inestabilidad global al permitir el financiamiento para grupos terroristas o subversivos por todo el mundo” ¿Y qué creen que hace la CIA por todo el mundo con lo que le queda de lavar cada año una buena parte de esos 380,000 millones de dólares?²

²Se calcula que el Departamento de estado y la CIA manejan anualmente 120,000 millones de dólares provenientes del narcotráfico.

6.7. La Heroína, promovida por el gobierno de los Estados Unidos de América

Antes de la invasión de Estados Unidos de América en Afganistán, los talibanes en 2001 habían logrado reducir la producción de opio a 250 toneladas por año, a fines del 2008 bajo la ocupación de Afganistán por las tropas yanquis la producción se ha elevado hasta 6,000 toneladas, ¡un incremento de 24 veces; o lo que es lo mismo un incremento del 2400%! Y ese país ahora ocupado por los yanquis produce el 92% del opio mundial. ¡Afganistán se ha convertido en un estado fallido, un Narco-Estado bajo la bota militar de Estados Unidos de América! ¡30,000 militares de élite del Imperio fracasan en una labor en la cual los talibanes tuvieron un éxito tremendo! El pueblo mexicano no aceptaría de manera alguna que con el pretexto del narcotráfico el Ejército de Estados Unidos de América nos invadiera para tratar de apoderarse de nuestros recursos valiosos como el petróleo y de su territorio. En todo caso, el Imperio debe tomar en cuenta que tanto el pueblo de México, como el de los Estados Unidos se opondrían a una intervención militar del ejército de EUA en México. Las élites gobernantes de EUA debieran considerar que dicha intervención producirá un derramamiento de sangre que no debiera suceder, debemos tomar en cuenta que 33 de cada cien soldados gringos que nos invadieron en 1847, parar arrebatarnos la mitad de nuestro territorio, regresaron sin vida a su tierra. México es un país de paz, a diferencia del Imperio Yanqui que no deja pasar un año sin invadir algún país o emprender una guerra para apropiarse de los recursos valiosos de países ajenos. Todos los pobladores del Continente Americano deberíamos reflexionar acerca de lo que dijo el Benemérito de las Américas, Lic. Benito Juárez García: **Entre los indivi-**

duos como entre las naciones el respeto al derecho ajeno es la paz.

Capítulo 7

Economías neoliberales y la realidad de un planeta finito en relación con el pico del petróleo y el futuro de la economía mundial.

Carl Sagan [64], en *The Varieties of Scientific Experience* (reeditado en 2006), relata una colección de experiencias científicas personales y afirma que: *“Actualmente existe otra tendencia adicional a la religiosa la cual en la esfera social o psicológica proyecta mitos sobre el mundo natural. Y esta es la idea de que los humanos somos privilegiados por alguna razón mágica. Esta afirmación explica por qué los humanos, que trabajan en economía, ponen la economía por encima de los sistemas naturales del planeta. Nos sentimos privilegiados y nada malo puede pasarnos”*.

En otras palabras la especie humana tiene la tendencia que si algo bueno puede ocurrir, ocurrirá, aunque sea improbable, y si algo malo le puede pasar, no ocurrirá, o le ocurrirá a otros. Por ejemplo, la probabilidad de sacarse el premio gordo en la Lotería Nacional en México es de 1 entre 240,000, y la probabilidad de que muramos en un accidente vehicular a lo largo de nuestra vida es de 1 en 240. Sin embargo, la gente que compra boleto confía en que se sacará la lotería y la gente que tiene auto confía en que no morirá en un choque. Lo mismo aplica para los gordos que pueden enfermar de diabetes y tener un ataque cardíaco, imaginan que les pasará a otros, no a ellos; actúan como si no tuvieran por qué cambiar su forma de vida, y consideran que mágicamente se resolverán las cosas sin necesidad de limitarse o sufrir. En la misma obra, Sagan explica: *“los dinosaurios no tenían la capacidad de anticipar o prevenir su extinción. Por contraste la especie humana puede anticipar los peligros causados por: la guerra nuclear, el deterioro de los ecosistemas, y el calentamiento global; y actuar en consecuencia”*. Así, es necesario que el hombre no se quede con los brazos cruzados.

De acuerdo con el profesor Bulent Gokay [65], la estabilidad del sistema económico capitalista, que se basa en una expansión o crecimiento exponencial, requiere que más y más materiales naturales sean transformados y consumidos en forma de mercancías en un ciclo sin fin. Ello no sólo desperdicia muchos recursos, sino que desperdicia las fuentes energéticas y minerales a un paso actualmente imposible de sostener. Además, el profesor Bulent Gokay, en 2011, [65], hace notar que al principio de la explotación del petróleo se extraía primero el más cercano a la superficie, el cual era el más ligero y fácil de refinar así como el más barato de obtener; conforme siguió su explotación en el mundo, fueron aumentando los costos de extracción y refinamiento del petróleo (más pesado o viscoso) de yacimientos más profundos. Desde el año en que

se alcanzó el pico del petróleo, 2005, los costos de producción han sido mucho más altos que antes de llegar al máximo de producción mundial y la producción misma de petróleo irá disminuyendo con el tiempo; estamos pasando de una época de petróleo barato a una de petróleo cada vez más caro y escaso.

Según los cálculos de Gokay, las reservas mundiales están disminuyendo a 6 % anual, con el agravante de un aumento en la demanda de un 2.2 % anual, lo cual da un déficit anual total de 8.2 %, cálculo 60 % mayor al estimado por Dick Cheney en 1999 (5.2 % de déficit anual). Considera que la supervivencia de la humanidad está en muy grave riesgo, y que la única respuesta racional es consumir menos productos en los países ricos y rediseñar todos los aspectos de la vida humana en el planeta.

Sabemos que en la mayoría de los países del mundo quienes dictan los aspectos principales de la política económica se guían por la escuela económica neoliberal. De acuerdo con Richard O'Rourke [66], director de la Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo (en inglés Association for the Study of Peak Oil) en Irlanda, *“esa escuela de pensamiento desafía las leyes de la física y cree que el crecimiento infinito en un planeta finito, no sólo es posible sino deseable. Y nos han adoctrinado en la creencia de que el crecimiento económico es la única cura o panacea para todos los males de la humanidad. Más insidiosamente nos ha encerrado en el paradigma económico de que sólo tendremos una economía estable mientras continuemos creciendo, como si fuéramos un trompo que cabecea cuando reduce su velocidad ... que su modelo no tiene consistencia a largo plazo lo muestra el hecho de que no hayan predicho la actual crisis económica mundial que estalló en el año 2008, y que no sepan cómo resolverla”*. El modelo económico neoliberal, debido fundamentalmente a Robert Solow [67], quien ganó el premio Nobel en 1987 por su teoría de

crecimiento económico, afirma que el crecimiento económico está determinado únicamente por tres factores: el trabajo, el capital y “*el progreso tecnológico*”. Solow fue el primer economista que distinguió sectores cualitativamente distintos de capital, al considerar que los capitales en los sectores nuevos de la economía eran más productivos que los que estaban en sectores de tecnología antigua. Así que para los economistas que asesoran o dirigen la política económica de la absoluta mayoría de los Estados del Mundo, la disponibilidad de la energía no es de importancia para el rendimiento económico, y por tanto en ese marco teórico no hay por qué preocuparse del pico del petróleo, pues consideran que el crecimiento económico resolverá el asunto energético de los combustibles fósiles con un sustituto que surgirá de forma espontánea del mercado (teoría del milagro celestial).

Durante veintiocho años esta escuela de economía predominante en el mundo compartió varias características “religiosas” como son:

1. Proclamaba ser una verdad absoluta y el único camino al cielo económico. Las élites insisten en ese camino aún después de la gran crisis del 2008 que no pudieron prever y menos evitar; y que no saben como resolver.
2. Proclama que son el camino correcto, y que todos los que no creen en ella son inferiores a los creyentes y dignos de lástima o de condena eterna.
3. Siempre están bajo revisión interna, y en un estado de reacción contra todo cambio que provenga del exterior. Recientemente han ido perdiendo posiciones ante el avance de la economía científica entre otras cosas por la crisis del 2008. No obstante, ellos tratan de ajustarse a los cambios sin cambiar sus dogmas religiosos básicos y continúan afirmando su validez absoluta.

4. Usan razonamientos circulares para evaluar la validez de sus dogmas, sin importar la realidad externa a sus creencias.
5. Existen diversos conceptos dentro de su religión que deben ser tomados como materia de fe, sin que se contemple que puedan ser confrontados con resultados experimentales y, además, que permitan corroborarlos o desecharlos.
6. Promueven el crecimiento de los creyentes por medio de la repetición, evitando los razonamientos, como si vendieran jabones.

O'Rourke [66], considera que, por otro lado, tanto los físicos y los miembros de una profesión emergente como los economistas-ecólogos, como cualquier persona normal con intuición, saben que no puede haber economía sin energéticos seguros. En efecto, se puede ver que recientemente han aparecido publicaciones de algunas teorías económicas que consideran que la eficiencia energética es el motor del desarrollo económico (véase por ejemplo [68-70]). De acuerdo con estos modelos, como estamos en un máximo de la producción mundial de petróleo, en ausencia de inversión productiva y desarrollo de nuevas fuentes energéticas de alta potencia, estamos también en un máximo de la producción económica mundial; y de aquí en adelante, en ausencia de aumentos en la eficiencia en el uso de la energía, la economía mundial comenzará a declinar en paralelo al ritmo del decrecimiento de la producción de petróleo y demás energéticos fósiles.

Capítulo 8

El efecto de la quema de combustibles fósiles en la atmósfera

1. El cuarto reporte (2007) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, en inglés IPCC (el cual fue premiado con el Nobel de la Paz en el año 2007) [71], concluyó que es *evidente e inequívoco de las observaciones experimentales del incremento en el promedio global de la temperatura del aire, y océanos, del derretimiento de las nieves permanentes y de los glaciares, así como del incremento en el nivel medio de los océanos; que todos esos fenómenos (con noventa por ciento de probabilidad de que sea verdad) sean resultado neto de las actividades humanas desarrolladas desde 1750 las cuales han producido un calentamiento global del sistema climático del planeta.*
2. En el 2008, la Agencia Meteorológica de Japón [72] reportó que, desde 1891 hasta el año 2008, la temperatura media global de la superficie del planeta Tierra se ha

elevado en 0.67 grados centígrados. Además, en el año 2005 el consumo acumulado del petróleo a lo largo de la historia ha gastado la mitad de las reservas totales del petróleo del mundo. Este consumo y el de carbón son responsables del 90 % del incremento en el dióxido de carbono en la atmósfera. Es de esperarse que cuando se termine el petróleo, en unos 30 años, el incremento de la temperatura de la superficie del planeta en el año 2037, alcance por lo menos, 1.2 grados centígrados más. Por su parte, la concentración de carbono en la atmósfera, que en 1850 estaba en 150 partes por millón, pase a 380 partes por millón en el 2007 y a 480 partes por millón en 2045. De acuerdo con el investigador Steve Connor [73], en el año 2005 se alcanzó un punto sin retorno al desaparecer masas de hielo a un ritmo que promueve la absorción de calor proveniente de la luz del sol, que normalmente sería reflejada por los hielos al espacio; esto hace que se entre en un proceso de aceleración del calentamiento global. En particular, de acuerdo con la Dra. Solomon y colaboradores [74], si el carbón atmosférico asciende dentro de la banda de 450-600 partes por millón, en México las precipitaciones pluviales disminuirán entre un 10 % y un 15 % y los cambios serán irreversibles por 1000 años; y sólo por expansión térmica del agua de los océanos, el nivel medio de los mares subirá entre 70 cm y 150 cm, cuando 700 millones de seres humanos viven a menos de un 1 m de altura del nivel medio del mar. Estos últimos resultados sobrepasan lo que se esperaba en 1990 para fin de este siglo. En el año 2012, La National Science Foundation de EUA, informan que de una investigación paleo-climática se concluyó que *el estado natural de equilibrio térmico de la Tierra con los niveles actuales de dióxido de carbono atmosférico (400 partes por millón) corresponde a niveles oceánicos más altos que los actuales en 21.34 metros.*

Esto dice la ciencia.

3. Mientras que de acuerdo con el panel intergubernamental de cambio climático (1990), el IPCC (por sus siglas en inglés) [75] consideraba que, si no se hacía una reducción en la quema de combustibles fósiles, y las tendencias seguían igual, se presentarán los siguientes hechos: en el siglo XXI, se tendría un incremento de temperatura de 0.3 grados por década, y un incremento del nivel medio de los océanos de 6 cm por década (lo cual arroja 2 cm por cada 0.1 grado de aumento de temperatura). La predicción para el 2030 era de 20 cm de aumento en el nivel del mar y 65 cm para el fin del siglo. Asimismo, en ese documento se hacía notar que los análisis de hielo en el Polo Norte indican que, en los últimos 800,000 años, los aumentos de temperatura y de dióxido de carbono atmosférico corren paralelos. Esos cambios son la razón de que en ese lapso hayan ocurrido cambios de temperatura global del planeta entre 5 y 7 grados centígrados, entre las oscilaciones de períodos glaciales e interglaciales. Se consideraba alcanzar 300 partes por millón del dióxido de carbono atmosférico para el período entre 2025 y 2050, con un incremento medio de temperatura de 3 grados centígrados. ¡En el 2007 se llegó a 380 partes por millón y actualmente a 400 ppm!
4. En el año 2006 el Dr. James Hansen de la NASA's Goddard Institute for Space Studies, el especialista en calentamiento global más reconocido en el mundo, en entrevista con Sara Goudarzi [76], aportó los siguientes elementos de información:
 - a) Si el aumento de la temperatura media de la superficie del planeta Tierra alcanza los 2 o 3 grados

centígrados (respecto a la época preindustrial), vamos a vivir en un planeta muy diferente al que conocemos; con esas temperaturas en el período Plioceno Medio, hace 3 millones de años, el nivel medio de los océanos era 25 metros más alto que el actual. Y además, tenemos el problema de que el aumento al doble del dióxido de carbono atmosférico causará, eventualmente, un calentamiento de la atmósfera de varios grados. Este resultado es consistente con el aportado en párrafos anteriores por La National Science Foundation de EUA, en 2012.

- b) En 2003, Hansen y sus compañeros mostraron que 1,700 especies de animales y plantas migraron hacia los polos alrededor de 4 millas por década en los últimos 50 años. Esa migración no es lo suficientemente veloz para mantenerse dentro de una zona dada de temperatura, la cual debería alcanzar una velocidad de 25 millas o 40 kilómetros por década en el período de 1975 a 2005 (según mostraron Hanson y coautores en una publicación del Journal Proceedings of the National Academy of Sciences).
5. En entrevista por Patrick Lynch [77], James E. Hansen informa que: Si el aumento de la temperatura media de la superficie del planeta Tierra alcanza los 2 grados, buena parte de la cubierta de hielo en Groenlandia puede fundirse, y según Hansen, este proceso no es lineal con el tiempo. En el glaciar de Pine Island en el este de Antártica, la rapidez de pérdida de masa de hielo se ha continuado acelerando en la década pasada. Los datos de la NASA en relación al cambio climático en Groenlandia y el este de Antártica, obtenidos de mediciones gravitacionales, vía satélite, muestran que estas regiones pierden masas de hielo a un ritmo que se duplica

cada 10 años, lo que significa un crecimiento exponencial de dicha pérdida con el tiempo.

También explica que el incremento en la atmósfera del dióxido de carbono liberado por la especie humana es algo nunca visto en 65 millones de años, sí, 65 millones de años, pues la rapidez de incremento que actualmente es de 2 partes por millón al año es 10 mil millones de veces mayor que el ritmo de incremento del dióxido de carbono atmosférico en ese período.

6. El 9 de mayo del 2012, el profesor James Hansen publicó un artículo en el New York Times [78] con las siguientes ideas:

Las arenas bituminosas del mundo contienen 240 Giga (miles de millones) toneladas de carbono, de ser explotadas para producir petróleo no sólo contaminarían una gran cantidad de agua, sino que producirán un incremento total de 120 partes por millón adicional al dióxido de carbono actual en la atmósfera; lo mismo ocurre con el esquisto de alquitrán que se concentra casi totalmente en EUA, 300 Giga toneladas de carbono, si éstas también las explotamos y las quemamos no hay manera de que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera esté por debajo de 500 partes por millón, lo cual condenaría a unos cuantos de nuestros hijos, los sobrevivientes, a vivir en un sistema climático sin control.

7. El Profesor Emérito John Cairns Jr., del Departamento de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico y de la Universidad estatal de Virginia EUA, [79] en relación con los efectos del calentamiento global para la vida humana y la vida en general, comienza su libro *The Future Eaters: Metaphors and Aphorisms as Environmental Teaching Tools* con la siguiente cita: “*No es accidente*

que estemos viendo dentro de Estados Unidos una extensiva supresión de la libertad científica. Es parte de la teoría de los gobierno actuales, y a esa teoría nos tenemos que oponer con toda nuestra fuerza”. (David Baltimore, Premio Nobel de Fisiología en 1975 y Presidente del Instituto de Tecnología de California. En un discurso el 17 de febrero del 2006 en el congreso sobre Efecto Invernadero de la emisión de gases organizado por la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia.)

Posteriormente Cairns Jr. trata la amenaza que implica el calentamiento global, y el crecimiento poblacional en cuanto a la supervivencia de la humanidad.

- a) Respecto a la extinción de especies, y en particular la especie humana, el profesor Cairns Jr., cita a J. Lovelock [80] quien afirma que: *la humanidad sobrevivirá la sexta extinción masiva de especies, en este caso producida por la acción humana; pues según él cientos de millones de miembros de la especie humana sobrevivirán, aunque miles de millones de seres humanos sufran y mueran en corto plazo. Mis especulaciones, después de profundos estudios, escribe el profesor Cairns Jr., “son menos optimistas que las de Lovelock, si no trabajamos adecuadamente para evitar una tragedia planetaria sucederá que: las guerras por los recursos escasos son altamente probables, especialmente si el cambio climático decrece la regeneración de los recursos naturales y la producción de los cultivos. Si como parece que va a suceder, seguirá aumentando la quema de combustibles fósiles mantener una cultura de consumismo y desperdicio ello conducirá a un incremento de temperatura global (respecto a la época preindustrial) de 3 a 6 grados centígrados y la especie humana no podrá enfren-*

tar exitosamente dicho incremento. En este caso, nuestra esperanza es que en el mejor de los escenarios solo sobreviviran pequeñas tribus de cazadores y recolectores con una población total de alrededor de unos 6 millones de seres humanos en todo el planeta. Este es un asunto de una sola oportunidad. Si nosotros fallamos, este sistema planetario fallará en cuanto a inteligencia concierne”.

Este asunto del calentamiento global y sus efectos sobre los ecosistemas no es de propaganda o demagogia política, dice el Profesor Cairns Jr., cuando los científicos enfrentan un problema ellos recogen toda la información que pueden acerca del asunto y extraen sus conclusiones; sin embargo, los propagandistas o los políticos usan una estrategia diferente. Ellos conocen de antemano el resultado que quieren obtener, así que construyen los argumentos que apuntalen los intereses que defienden. Los científicos enfrentan la revisión de su trabajo por los colegas de otras partes del mundo, y no pueden dejar de considerar publicaciones que no están de acuerdo con sus resultados o hipótesis. El profesor Cairns Jr., considera que existe un ataque sistemático dentro de Estados Unidos contra todo científico que aborde ciertos temas contrarios a intereses estratégicos de las élites del poder. En particular, menciona que en los Estados Unidos supuestamente un país con liderazgo científico en el mundo, el asalto contra la ciencia tiene tres componentes principales: 1) desacreditar a aquellos científicos cuyas visiones difieran de la política dominante o la ideología económica y la fe religiosa, 2) intentar intimidar científicos y otros académicos mediante juicios, los cuales les con-

suman tiempo y dinero, y 3) desacreditar teorías científicas implicando que únicamente son conjeturas pseudo intelectuales más que esquemas cuidadosamente contruidos para lograr el entendimiento de un conjunto sustancial de evidencias experimentales.

- b) Respecto a las implicaciones del crecimiento de la población, Cairns Jr. afirma: *Independientemente de que vivamos en una cultura de consumo excesivo y desperdicio, el crecimiento exponencial de la población humana va acompañada de un crecimiento comparable en todos los factores asociados con la civilización como escuelas, salud, vestido, casa , etc. Satisfacer dichas necesidades no es trivial dado que el planeta es finito y sus recursos están actualmente muy comprometidos. Y si bien no da una receta para resolver ese problema, aporta una filosofía condensada en el siguiente proverbio cuáquero: **Vive simple, para que otros puedan simplemente vivir.***

8. Respecto a la gran concentración de riqueza en unas cuantas manos en el mundo, el 5 de diciembre del 2006, la BBC NEWS [81], menciona que de un estudio dado a conocer en Helsinki por el Instituto Mundial para la Investigación acerca del Desarrollo Económico de la Universidad de las Naciones Unidas, queda claro lo siguiente: La mitad de la población mundial, los más pobres del mundo, escasamente poseen el 1 % de la riqueza global del planeta. La riqueza está fuertemente concentrada en Norteamérica (Estados Unidos y Canadá), Europa, Japón y Australia quienes en conjunto poseen el 90 % de la riqueza en los hogares del mundo. El 1 % de los adultos más ricos del mundo poseían el 40 % de la riqueza global del mundo en el año 2000, y

el 10 % de los adultos más ricos del mundo poseían el 85 % de la riqueza global del mundo.

9. Respecto a algunos de los efectos de los tratados internacionales de libre comercio y su efecto sobre los pueblos del mundo citamos el ejemplo del campo mexicano.

Aaron Glantz [82], reportero estadounidense informa que según Anuradha Mittal del Instituto Oakland con base en California (instituto especializado en asuntos ambientales, económicos y sociales), los acuerdos de libre comercio tienden a beneficiar a los muy ricos a expensas de los pobres. El aumento del libre comercio ha incrementado la diferencia entre los ricos tanto dentro de cada nación como en el plano internacional, como ejemplo cita el caso del efecto sobre el campo mexicano del “North American Free Trade Agreement” (NAFTA o TLC) firmado en 1992 por Estados Unidos, México y Canadá: *en lugar de que México se haya convertido en exportador de alimentos a Estados Unidos, lo que realmente pasó es que las exportaciones de maíz de Estados Unidos a México se han triplicado, sacando 2 millones de agricultores del campo en México. Y esas mismas personas se han visto obligadas a migrar a Estados Unidos para trabajar en beneficio de los agricultores estadounidenses y en contra de los intereses de la economía del campo mexicano.*

Capítulo 9

Alimentos, Ecosistemas y el Agua en el Contexto del Agotamiento de Combustibles Fósiles y de Calentamiento Global

De acuerdo con Dean Carroll [83], “los gobiernos y las compañías petroleras; así como los medios de comunicación han hecho un silencio acerca no sólo del pico del petróleo sino de las ramificaciones del agotamiento del petróleo, esto ocurre cuando hemos alcanzado el momento de realizar un urgente debate acerca de un futuro sin petróleo barato y en proceso de agotamiento”. En particular en esta sección analizaremos las implicaciones que el agotamiento de los combustibles fósiles arroja sobre las necesidades alimentarias y de agua de la humanidad, y del cuidado de los ecosistemas necesarios para la vida.

9.1. Uso de energía en la agricultura

Refiriéndose a la producción agrícola de EUA, los investigadores D. Pimentel y M. Giampetro en 1994 [84], consideraban la urgente necesidad de reducir su población, e indican que existen tres medios para llevarlo a cabo: la libre decisión consciente de la gente, regulaciones gubernamentales y el sufrimiento y la muerte por hambre. Bajo este último escenario, las condiciones se deteriorarán sin control y sólo sobrevivirá una fracción muy pequeña de la población actual. Y se preguntan: *¿vamos a condenar a nuestros hijos a esa tragedia simplemente por unos cuantos años de consumo sin freno?* D. Pimentel, es reconocido como una de las principales autoridades mundiales en economía agrícola y energética aplicada a la misma, y a quien citan tirios y troyanos, escribe una nota antes de entrar en la materia de su reporte: *“Este es probablemente el artículo más importante que he escrito hasta ahora. Y ciertamente es el más escalofriante, y la conclusión es la más sombría que haya escrito jamás. Este artículo está escrito para sacudir fuertemente al lector; y ciertamente me ha sacudido a mí. Sin embargo, es importante para nuestro futuro que este artículo y semejantes sean leídos, entendidos y discutidos. Soy optimista y positivo por naturaleza. Y continuaré creyendo que como especie podemos encontrar soluciones positivas a las múltiples crisis que están cayendo y explotando sobre nosotros”*.

De acuerdo con D. Pimentel y M. Giampetro [85], si continúa el crecimiento de la población estadounidense al ritmo actual, la misma necesidad alimentaria el causara tal erosión en los suelos agrícolas que para el año 2025, EUA deje de ser exportador de alimentos por la necesidad de cubrir sus necesidades locales. Esto afectará a EUA al dejar de recibir anualmente 40,000 millones de dólares en divisas, lo cual

aumentará su déficit. Y como EUA es actualmente el mayor exportador de alimentos, habrá muchos millones de habitantes del mundo cuya vida estará en riesgo debido a este cese de tales exportaciones. Respecto al agua, que cada vez es necesario extraerla de mayores profundidades, y proporciona el 31 % del total de agua utilizada en agricultura, está siendo extraída a un ritmo 160 % más alto que su ritmo natural de reposición. Esta agua ya no contribuirá a la agricultura en 40 años. En cuanto a la energía, en EUA se utiliza el 19 % de todo su gasto energético en agricultura, del cual el 100 % es de origen fósil; este tipo de energía, a lo más, estará agotado internacionalmente en 30 años. En EUA el consumo de energía en las diferentes fases de producción de alimenticia es como sigue: cultivar la comida requiere 7 %, procesarla y empacarla consume un 7 % adicional, y transportarla y prepararla para su consumo otro 5 %. Cada persona en EUA requiere per cápita aproximadamente 2000 litros de petróleo, equivalente por año, para lo relativo a su alimentación [86]. Tal vez en EUA se utilice el carbón, cuyas reservas nacionales durarán entre 50 y 100 años para sustituir el petróleo; aunque no es claro si sucederá por las implicaciones ambientales y sus consecuencias respecto al calentamiento global.

La mecanización de la agricultura requiere mucha energía, tanto para la operación de la maquinaria (1.4 millones de kcal por hectárea), como para la reparación de la misma (333,000 kcal por hectárea). Alrededor de un tercio de la energía requerida para producir una hectárea de cosecha se debe a la energía necesaria para operar la maquinaria. La mecanización decrece significativamente la labor necesaria para la agricultura, en el caso del maíz, por un factor de 100, sin embargo, no contribuye a incrementar la producción agrícola [86].

Como un paso en la dirección correcta, Pimentel y otros más, analizan [86] lo que debiera hacerse para reducir la dependencia de EUA en la producción agrícola de los combus-

tibles fósiles en un 50 %.

- I. Conservación del suelo. Alternativa no sustentable, “debida a la erosión del suelo agrícola se pierde una gran cantidad de nutrientes. En promedio, la pérdida es de 13 toneladas anuales de suelo por hectárea. Lo anterior debe ser compensado parcialmente con 55 kilogramos de nitrógeno, y 110 kg tanto de potasio como de fósforo por hectárea cada año. Para reemplazar estos nutrientes se requiere una cantidad de energía de alrededor de 880,000 kcal por hectárea en lo relativo al nitrógeno y 440,000 kcal tanto para potasio como para fósforo por hectárea cada año. La cantidad total de energía para compensar los nutrientes perdidos por erosión, es de 1.6 millones de kcal por hectárea, lo cual significa el 20 % de la energía total utilizada en la producción de una hectárea de maíz”.

“Para ser sustentable la erosión del suelo en la agricultura debe ser reducida a no más de una tonelada de suelo por hectárea por año. Las tecnologías que deben utilizarse para lograrlo son: mejores rotaciones de cultivos, cubierta de terrenos de labranza ya cosechados, tiras de pasto a lo largo del contorno de las vías naturales o artificiales de agua, zanjas de desvío de agua, terrazas de riego de distintos tipos, siembra sin arar o con mínimo arado o volteado de tierra, cubrir de hierbas las superficies siempre que sea posible, plantar siguiendo contornos, producir suelo con materia orgánica, utilizar técnicas de cultivo orgánicas y combinaciones de todo lo anterior”.

La producción de trigo mediante irrigación requiere tres veces más energía que cultivo de temporal, y hay que considerar que cuando la gasolina suba de precio a 10 dólares por galón la agricultura irrigada en EUA

declinará significativamente.

- II. Conservación de nutrientes del suelo. Conforme los combustibles fósiles escaseen, los costos de producción de fertilizantes sintéticos aumentarán en la misma o mayor proporción. Esta presión económica forzarán a los agricultores (y a la sociedad entera) a buscar fuentes alternativas para cubrir la demanda de nitrógeno, fósforo y potasio. La utilización de cubiertas vegetales sobre la tierras de cultivo, el añadir mejoras orgánicas, como sobras de granjas o compostas, puede mejorar la calidad de los suelos y cubrir las necesidades de la agricultura, reduciendo sensiblemente el uso de sintéticos intensivos en energía para su producción. Además, las cubiertas vegetales de las tierras de producción agrícola entre siembras principales evitaría que en el mundo se pierdan anualmente 23,000 millones de toneladas de suelo, o lo que es lo mismo, el 0.7 % de la capa vegetal de las tierras de cultivo del mundo.

- III. Cubiertas vegetales en cultivos (cover crops). Deben ser plantadas en el suelo cuando ya se recogió la cosecha del cultivo principal del campo, esto ayuda a proteger el suelo de la erosión una vez recogida la cosecha, y a la vez, permite aprovechar diversos nutrientes como el nitrógeno, que de otra suerte se filtrarían hacia las aguas del subsuelo contaminándolas. En particular las leguminosas pueden llegar a fijar, entre cosechas, algo así como 120 kg y 200 kg por hectárea, aportando muchas veces el nitrógeno requerido por el siguiente cultivo. Otro beneficio es que los terrenos así cuidados, permiten coleccionar 80 % más energía solar almacenada en materia vegetal, comparados con los suelos a los que no se les adiciona una cubierta vegetal después de la cosecha principal. Otra ventaja de la rotación de cultivo es que disminuye

mucho la necesidad de aplicar insecticidas, sobre todo cuando va unido al intercalado de zonas de distintos cultivos en tiras o islas. Lo anterior resalta también la importancia de la rotación de cultivos.

- IV. Materia orgánica de los suelos. El mantener un alto nivel de materia orgánica en los suelos ayuda a aumentar la permeabilidad de los éstos, aumentando así la infiltración del suelo y disminuyendo por lo tanto la cantidad de agua superficial que pueda correr y erosionar la tierra superficial. Lo anterior enriquece también los suelos en su capa vegetal, así como los ecosistemas debajo de la superficie, los cuales airean y benefician de diversas maneras la vida de las plantas; y aumentan la capacidad total de infiltración y recarga de los suelos [86].
- V. Excremento o desechos animales (Manure). La producción anual total de Manure durante 2007, debido a la existencia de 100 millones de vacuno, 60 millones de cerdos, y 9000 millones de pollos (todo esto en en EUA), fue estimada en 20.3 millones de toneladas métricas de nitrógeno. Material que podría utilizarse como abono en la producción agrícola.

Si los desechos animales no son inmediatamente enterrados en la tierra o puestos en lagunas bajo condiciones anaeróbicas, él 50 % del nitrógeno en dichos desechos se pierde después de las primeras 24 o 48 horas, como gas amoníaco. Como el 80 % de los desechos de las vacas es agua, deben ser aplicados dentro de una distancia menor a 12 kilómetros de otra suerte el balance energético es negativo. Estos materiales pueden ser almacenados en forma de composta; sin embargo alrededor del 75 % del nitrógeno contenido en la composta se pierde en un año.

9.1.1. Efectos negativos de la separación entre los sitios de producción de animales para la alimentación humana y los de producción agrícola

“La separación física entre los sitios de producción agrícola y los sitios de producción de animales para alimentación humana trae consigo no solo costos energéticos gigantescos sino contaminación importante del medio ambiente. La concentración de animales favorece su manejo directo y significa por un lado una ventaja económica para las grandes corporaciones que tienen mataderos concentrados y empacadoras a gran escala; pero a nivel social y de ecosistemas, no sólo produce condiciones miserables de hacinamiento de los animales y promueve el uso intensivo de antibióticos para controlar epidemias, sino que representan un desequilibrio importante a los ecosistemas vecinos. Además, obliga al uso de fertilizantes sintéticos por la falta de reciclaje de los desechos biológicos, del ganado hacia los sitios de producción agrícola, despilfarrando energéticos escasos” [86].

9.1.2. Impacto en los ecosistemas causados por las labores agrícolas y forestales de la humanidad

Pimentel y colaboradores estiman que un 30 % del total de la energía solar que alcanza la Tierra es cosechada como alimento y forraje, mientras un 20 % adicional es cosechado como productos forestales [87]. Ello significa que los humanos estamos cosechando aproximadamente el 50 % de la energía solar que alcanza la Tierra seca, o no cubierta por los mares. Esta enorme cosecha reduce la cantidad de biomasa y energía, así como agua, que es esencial para mantener vivas las pobla-

ciones de la biota y su diversidad. Preservar la biodiversidad es vital para mantener la integridad del entorno ambiental para la humanidad, la agricultura y las actividades forestales humanas. Pimentel afirma que somos la principal causa de las extinciones de especies naturales, mismas que avanzan a un ritmo de decenas de miles de veces sobre la velocidad normal de recambio de especies, por otras más aptas de adaptarse al entorno. Según el grupo de biólogos y agrónomos asociados con Pimentel, es urgente buscar políticas acordadas por toda la humanidad para reducir la carga de la especie humana sobre el planeta del valor actual de 7 mil millones de seres humanos a 2 mil millones de seres humanos, de otra suerte la supervivencia de la especie no tiene futuro [87]. En esta última afirmación de nuestro buen amigo Pimentel, sin embargo se trasluce su calidad de ciudadano de Estados Unidos de América, acostumbrado al alto consumo y desperdicio de recursos; la verdad es que los recursos alimentarios mundiales producidos actualmente alcanzan para satisfacer las necesidades alimentarias básicas de los 7,000 millones de seres humanos que poblamos el planeta, ello con un simple cambio de dieta que no haga tanto énfasis en proteínas provenientes de reses; sin embargo debiera estabilizarse la población humana en el planeta para estar dentro de las posibilidades de trabajo del planeta.

9.1.3. Producción de bioetanol como política genocida de EUA, los energéticos y la alimentación humana

La energía total requerida para producir 1,000 litros de etanol a partir de grano de maíz es alrededor de 8.3 millones de kcal, sin embargo, al utilizarla como combustible, esa cantidad solo tiene un valor energético de 5.0 millones de kcal; se requiere, pues, 65 % más energía para producir etanol por

vía del maíz que la cantidad de energía que se obtiene [88]. El uso de granos para alimentación humana, como el maíz para producir etanol, tiene implicaciones nutricionales y éticas fundamentales para la especie humana. Alrededor del 60 % de la población mundial están usualmente desnutridos a nivel calórico, por lo tanto, cubrir las necesidades de granos es crítico [88]. El uso por EUA del 50 % del maíz producido por ellos (50 % de la producción mundial) para la elaborar etanol, ha incrementado los precios de la carne, el pollo, el huevo, el pan, los cereales, y la leche entre un 10 % a un 30 % en los últimos años [88]. Y de acuerdo con la ONU [89], el uso de granos de maíz para la elaboración de etanol es el responsable de la escasez actual de comida para los pobres del planeta (3,500 millones de personas), y de su elevación de precio. En la primera mitad del 2008 se reportó el incremento internacional del precio del maíz en 74 %, del trigo en 124 %, y del arroz en 224 % [90]. Para que entendamos las repercusiones genocidas de la producción de bioetanol en EUA, tomemos en cuenta que los más pobres del mundo dedican el 80 % de sus ingresos en alimentación y el 80 % de su alimentación son cereales y que el 50 % de la población mundial (3, 500 millones de seres humanos) tiene menos de 2.5 dólares diarios de ingresos [91]. Esto se agrava cuando se sabe que desde 1984-1985, la producción mundial total de granos viene en declive [10, 88].

9.1.4. Necesidad de controlar las pestes en el ciclo agrícola de producción alimentaria

De acuerdo con Pimentel [88], es necesario realizar investigación y desarrollo tecnológico práctico en el control sustentable y no contaminante de las pestes en todas las etapas de la producción agrícola, desde el cultivo hasta el almace-

namiento de los productos finales; por cuanto el 50 % de la producción total mundial es destruida por pestes biológicas. Este es un sector de gran oportunidad de ahorro energético y de mejoría de la alimentación humana.

9.2. Consecuencias energéticas de los estilos de dietas alimentarias

De acuerdo con un estudio de la profesora Annika Carlsson-Kanayama y otros [92], al elegir alimentos que no utilicen muchos energéticos fósiles en su producción estamos ayudando a que no avance rápido el calentamiento global. Por ejemplo, dentro de la categoría de carnes o proteínas, producidas por alimentación de animales con cereales, se requiere de distintas cantidades de cereal por kilogramo producido, aquí medidos en Megajoules por kilogramo (MJ/kg). La de res, 75 MJ/kg, la de cerdo y oveja 40 y 43 MJ/kg, respectivamente, la de pollo 35 MJ/kg, la de huevo 18 MJ/kg, comparable con carne de pescado obtenida por acuicultura.

De acuerdo con la FAO, el 60 % de las tierras de pastura alrededor del mundo producen el 9 % de la carne de res que consume la especie humana [93]; esta es la cantidad de carne de res que puede ser consumida sin recurrir en su producción al consumo de granos.

El Profesor D. Pimentel y colaboradores [94], calcularon en 1994 que si no se dedicara ningún grano a alimentar a reses, con ese grano se podría alimentar a 1,500 millones de personas con dieta vegetariana; lo cual, según nuestros cálculos, implicaría *a grosso modo* sustituir 1,200 millones de reses por 1,500 millones de personas. Resulta que cuando comenzamos a analizar la interrelación entre los distintos problemas que enfrenta la humanidad para su supervivencia, entendemos lo que menciona Pimentel en la referencia [88], la angus-

tia y preocupación de miles de científicos alrededor del mundo por la complejidad de los problemas actuales. Citamos a Pimentel: “por todo el mundo durante 1994, 58 academias de ciencias, incluidas la Academia Nacional de Ciencias de EUA, han puntualizado que: la humanidad se está aproximando a un punto crítico con respecto a asuntos interrelacionados como población humana, recursos naturales y sustentabilidad”.

9.3. El Agua

9.3.1. Introducción

Según estudios detallados de Vitousek y colaboradores [95], el total de la biomasa planetaria producida por fotosíntesis es de 224.5 mil de millones de toneladas/año; de las cuales la acuática es de 132.1 mil de millones de toneladas/año, y la que corresponde a todos los productos agrícolas cultivados por la especie humana ascienden a 15 mil millones de toneladas/año (lo que significa el 16.23 % de toda la biomasa vegetal en tierra). De acuerdo con Wirsenius [96], de estos últimos, la alimentación humana es su destino dominante ya que representa alrededor del 82 % de la extracción total de la biomasa, seguida de la bioenergía, el 11 %, y los biomateriales, un 7 %. De acuerdo con la investigadora Sandra L. Postel, para fines prácticos, hemos llegado al límite de la productividad de la tierra bajo uso agrícola [97].

Actualmente, entre el 38 % y el 40 % de los granos y del agua se dedica a la alimentación de animales criados para obtener proteínas de origen animal. Esto es importante cuando sabemos que la producción de un kilo de cereal requiere de mil litros de agua (agua que se pierde por evatranspiración¹). Además existe una relación lineal experimental, entre

¹La evatranspiración se define como la pérdida de humedad de una

el consumo de agua por un cultivo y la cantidad de materia orgánica producida [97].

De los 3,200 kilómetros cúbicos de agua mínimos requeridos en la producción agrícola de 1995, el 60 % se debió a la producción de los cereales básicos para el consumo humano, esto es, maíz, trigo y arroz; las semillas oleaginosas necesitaron el 17 % de ese requerimiento y la azúcar de caña necesitó aproximadamente el 6 % [97]. La producción agrícola mundial utiliza el 70 % de todos los escurrimientos de agua dulce [98]. El 40 % del total de los escurrimientos se utiliza en los terrenos irrigados, los cuales representan el 17 % de los terrenos cultivables y producen el 40 % de la producción agrícola. [97].

En 1995, con una población mundial de 5.7 mil millones de habitantes, cada ser humano disponía anualmente, en promedio, de 2,420 metros cúbicos de agua, de los cuales, según cálculos de 1993 realizados por el hidrólogo ruso Igor Shiklomanov [99], 240 metros cúbicos por persona al año corresponden al uso en casas, municipios e industrias.

9.3.2. Agua y animales aprovechados por la humanidad

Los animales domesticados del mundo, los cuales según la FAO (1996) incluyen 1,300 millones de reses, 900 millones de cerdos, y más de 12,000 millones de pollos, contribuyen a la dieta humana con huevos, leche y carne. De las 2,700 kilocalorías consumidas per cápita por los seres humanos diariamente a nivel mundial (FAO 1995), los animales contribuyen con el 16 %, consumiendo el 38 % de los cereales, implicando esto último el consumo del 38 % del agua disponible para la agricultura.

superficie por por evaporación directa con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación de las plantas

9.3.3. Agua y ecosistemas

El agua dulce es un recurso renovable pero finito en el planeta Tierra. Existen numerosos signos de que el consumo de agua por la especie humana excede los límites de la sustentabilidad: vaciamiento de las fuentes subterráneas de agua, ríos que dejan de llegar al mar o dejan de tener flujo [100], lo que afecta múltiples ecosistemas. Según un estudio del Banco Mundial en 1993, el río Ganges en la India, el río Amarillo en China, y el río Colorado en EUA, prácticamente no descargan agua a los mares en donde desembocan. El déficit global de agua se estima por Postel [100] en 100 mil millones de metros cúbicos por año, lo cual es equivalente al flujo anual del río Nilo. Alimentar a 9,000 millones de personas en el año 2025 requeriría recursos adicionales de 500 kilómetros cúbicos de agua para riego, equivalentes al flujo anual de seis ríos Nilo [99]. Esto contrasta con el hecho de que ya no existe más tierra para cultivo en el mundo y la productividad de los cultivos llegó a un máximo hace ya más de una década. Embalsar los pocos cursos libres de agua para conseguir sistemas adicionales de riego condenaría a muchos ecosistemas acuáticos a desaparecer. En todo caso, de acuerdo con Postel [100], se necesita desarrollar nuevas técnicas de aprovechamiento de agua para reducir las presiones actuales sobre los ecosistemas y comenzar de inmediato a restaurar su salud.

9.3.4. Agua virtual y posibles hambrunas en el futuro cercano

El agua que se necesita para producir los alimentos que se importan a un país se denomina agua virtual, la cual está supliendo la falta de agua en el país importador [98]. Los continentes donde están concentrados los países con falta de agua

son África y Asia, estos son los sitios donde es más probable que ocurra la mayor proporción de muertes por hambrunas en fechas cercanas, debido a los efectos del calentamiento global que reducirán la disponibilidad de agua en dichas regiones. Contrariamente, en Norteamérica y en Oceanía, por el momento, existe excedente de producción de cereal, y no se esperarían hambrunas sino después de que estallaran éstas en las dos regiones antes mencionadas. Sudamérica es más o menos autosuficiente [98]. De acuerdo con Postel, en México vamos a tener grandes problemas alimenticios, con las consecuentes hambrunas y numerosas muertes más pronto de lo que imaginamos.

9.3.5. Agua, dieta humana, energéticos y ecosistemas

Cambiar la dieta humana hacia otras más eficientes en el uso de agua puede jugar un papel importante en la supervivencia del hombre. Según Cohen [101], las calorías para consumo humano obtenidas a partir de animales necesitan para su obtención de 4 a 16 veces más agua que las que se obtienen a partir de productos vegetales. De acuerdo con Postel [100], al comer en un eslabón más bajo de la cadena alimenticia, o seleccionar formas menos intensivas de obtener proteínas animales, podemos obtener mucho más beneficio nutricional de cada litro de agua consumida en la producción alimenticia. Dicho de otra manera, el uso del mismo volumen de agua puede contribuir a alimentar dos personas en lugar de una; dejando más agua para los ríos y corrientes que ayudarían a restaurar pesquerías, humedales y ecosistemas dañados actualmente, los cuales podrían prestar diversos servicios a la vida de todos los seres vivos del planeta.

9.3.6. Agricultura e irrigación con agua subterránea

Debido a que la irrigación de cultivos ocupa dos tercios de la extracción global de agua subterránea, en todo el mundo, aumentar la productividad del agua en la agricultura es una prioridad fundamental de supervivencia y del cuidado y restauración de los ecosistemas planetarios [102]. Actualmente contamos con las tecnologías que podrían ayudar a duplicar la eficiencia del uso del agua agrícola como, por ejemplo, el riego por goteo. Un problema asociado a este método, es la necesidad de mayor inversión para el sistema de tuberías de riego.

9.4. Agua del subsuelo

9.4.1. Localización del agua dulce en el planeta

De acuerdo con el investigador ruso Igor Shiklomanov [103], en 1993 el agua dulce mundial estaba distribuida como sigue: 68.6 % en glaciares y polos, 30.1 % aguas subterráneas y 1.3 % en aguas superficiales. Cabe destacar que dichos datos son tomados como ciertos, tanto por el gobierno de los Estados Unidos [104], así como por las compañías privadas de dicho país [105].

Las aguas subterráneas son utilizadas fundamentalmente para la agricultura y para uso humano directo. El 29 % del agua total utilizada en riego proviene del subsuelo [106]. La rapidez mundial de extracción en el año 2010 era de alrededor de 200 kilómetros cúbicos por año, mientras que la rapidez de recarga mundial es de 15 kilómetros cúbicos por año.

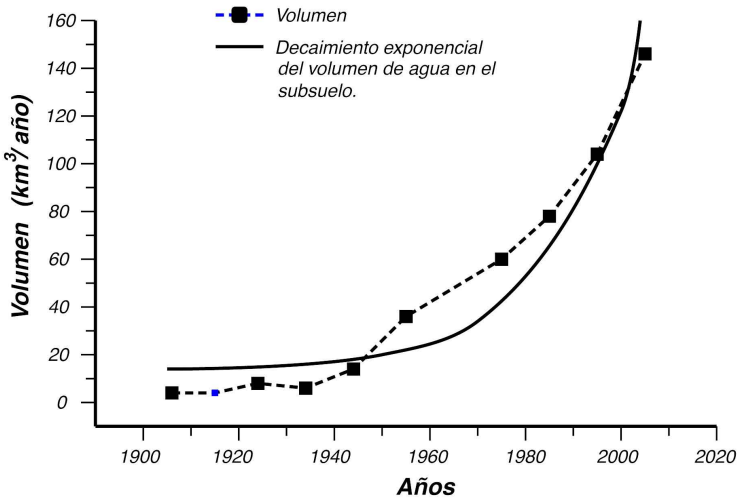


Figura 9.1: Crecimiento exponencial de volumen de agua extraído. La gráfica fue elaborada por los autores J. A. Montemayor Aldrete y P. Ugalde Vélez con la información de la referencia [107], esta gráfica no había sido presentada por ningún investigador previamente.

9.4.2. Evolución temporal de la extracción de aguas del subsuelo por la humanidad

Basándonos en los datos de la referencia [107], los autores construimos la Figura 9.1, donde se muestra la evolución de la extracción de agua del subsuelo desde el año 1900 al año 2008.

9.4.3. Efecto de la extracción del agua del subsuelo en la elevación del nivel medio de los océanos

De acuerdo con Yoshihide Wada y colaboradores [108], la extracción del agua del subsuelo del planeta al ser arrojada a los mares, y por evaporación a la atmósfera en el año 2003, contribuyó aproximadamente con un 34 % al incremento anual del nivel medio de los océanos. En 1900, contribuía con un ritmo de 0.57 milímetros por año, y para el año 2000 se esperaba que dicho incremento fuera de 0.82 milímetros por año. Los autores de este reporte consideramos que el crecimiento de la contribución del agua del subsuelo al incremento del nivel medio del mar crecerá exponencialmente con el tiempo, de acuerdo con la gráfica que recién hemos presentado. Hasta un cierto límite y conforme se agote el agua del subsuelo, dicha contribución disminuirá cada vez mas.

9.4.4. ¿Agotamiento del agua del subsuelo y el fin de la agricultura como la conocemos?

El 14 de junio del 2012, el investigador estadounidense Bob Morris de la Universidad de Texas plantel del Estado de California, refiriéndose a energía y agua en la agricultura [109], comenta lo siguiente: de acuerdo con un estudio de la Universidad de Texas, la rapidez de agotamiento del agua del subsuelo en Texas, California, y en otras partes del país, es tan grande que está amenazando la seguridad alimenticia, el ritmo de recarga es muy bajo comparado con el de extracción. Estas áreas incluyen algunas de las tierras más fértiles de EUA como el Central Valley en California y High Plains, pasando por el noreste de Texas hasta Wyoming y Dakota

del Sur. Juntas estas áreas producen muchos de los vegetales, frutas y granos que se consumen y se exportan de EUA.

De acuerdo con Bridget R. Scanlona y colaboradores [110], la sobreexplotación de los acuíferos puede tener un impacto significativo en la producción agrícola de EUA debido a que el 60 % de la irrigación depende del agua del subsuelo. Además, afirma la investigadora, el 50 % del agotamiento del agua del subsuelo en EUA, el cual ha ocurrido desde 1900, ocurre en los distritos de riego del Valle Central de California y High Plains.

El fenómeno anterior también ocurre en otras partes del mundo. Según el investigador chino Jane Qiu, en un artículo publicado el 13 de julio del año 2010 [111], la presión en torno al agua en la agricultura china es muy grande pues ellos tienen alrededor del 20 % de la población total mundial, y solo del 5 % al 7 % de los recursos de agua dulce del mundo. El agua del subsuelo la utilizan para irrigar más del 40 % de la tierra agrícola. En el norte de China los niveles del agua del subsuelo han descendido a un ritmo de 1 metro por año entre 1974 y 2000. El gobierno espera que un sistema masivo de canales y acueductos puedan llevar 45 millones de metros cúbicos de agua desde el húmedo sur hasta el norte árido, esperan completar la obra para el 2050, y aliviar los problemas causados por el agotamiento del agua del subsuelo. Actualmente 600 ciudades chinas sufren escasez de agua.

En la India las cosas no van nada bien. El investigador Matthew Rodell y colaboradores [112], basado en las observaciones realizadas mediante los satélites de la NASA denominados (GRACE) Gravity Recovery and Climate Experiment, ha determinado que el agua del subsuelo del noroeste de la India está siendo agotada a un ritmo de 4 centímetros por año en altura media del nivel de agua. Lo anterior significa un ritmo de extracción de 18 kilómetros cúbicos por año, durante el período de medición de 6 años, el total fue de 109

kilómetros cúbicos, lo cual es, *a grosso modo*, el doble de la capacidad del mayor depósito de agua superficial de la India: el alto Wainganga.

En México, la situación anda mal. De acuerdo con un comunicado de la agencia Latin America Press de junio del 2003, [113], México se está convirtiendo en el **Sahara Americano**. El 54 % del territorio de esta nación se está desecando a un ritmo alarmante, la desertificación avanza a un ritmo del 2 % anual. Según la Comisión Nacional del Agua, 34 ciudades mexicanas, incluyendo Acapulco y Cancún, se están quedando sin agua y pueden tener serios problemas en una década. Un factor que está acelerando este proceso es la reprivatización de la tierra y la sobreexplotación de las fuentes de agua por las agro-empresas mexicanas y extranjeras. La situación en México se agrava debido a que el 20 % de la agricultura depende de la extracción de agua del subsuelo [114].

9.5. Agricultura, población humana y ecosistemas

Más del 99 % de la alimentación humana se produce en la tierra, mientras que menos del 1 % proviene de los océanos o cuerpos acuáticos [115]. Desde 1900, paralelamente al incremento de la población ha crecido la cantidad de área cultivada que utiliza irrigación, y el agua sustraída de los ecosistemas naturales [116], el uso de agua en $\text{km}^3/\text{año}$, como puede observarse en la Figura 9.2. Como consecuencia, en muchos ríos la descarga ha disminuido linealmente con el tiempo tanto en EUA como en Asia. Véase la Figura 9.3. Esto ocurre tanto por consumo directo en agricultura como por almacenamiento en presas, véase la Figura 9.4, donde se describe la evolución del número de presas en el mundo como función del tiempo. Es claro que todo este uso y construcciones que alteran el flujo

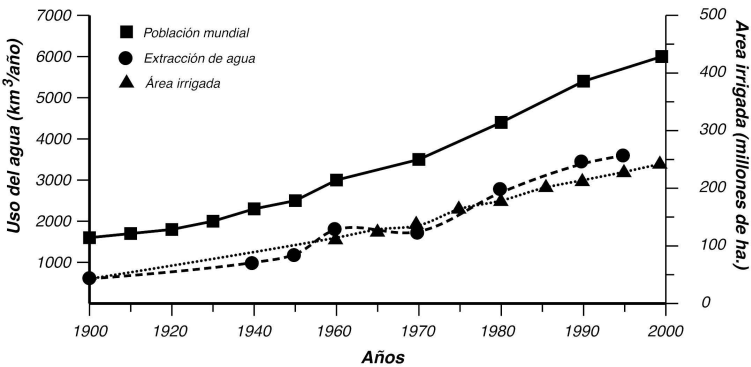


Figura 9.2: Tendencias de población, agua utilizada por la humanidad áreas irrigadas durante el último siglo, datos tomados de la referencia [116].

natural de agua dañan los ecosistemas naturales, y en algunos casos de manera irreversible. David Pimentel y Russell Hopfenberg hablan acerca de la necesidad de detener o disminuir la población humana a través de medidas voluntarias, pues siempre que se aumenta la producción de alimento para seres humanos, se hace a expensas de otras especies, el efecto biológico ha sido y continuará siendo el incremento de la población humana en detrimento agudo de las condiciones generales de vida en el planeta [117]. Es un hecho empíricamente demostrado en todas las especies animales, que su población aumenta hasta donde lo permiten los recursos alimentarios disponibles. Incluso la población humana total del mundo en la etapa de cacería y recolección estuvo limitada por el alimento accesible; y sólo creció cuando la humanidad inventó la agricultura y la ganadería, desplazando otros ecosistemas complejos formados por vegetales y animales silvestres.

En general, de acuerdo con Pimentel y Hopfenberg [117], las curvas de crecimiento de población para la mayoría de las especies sigue una forma sigmoïdal o de S, en función del tiem-

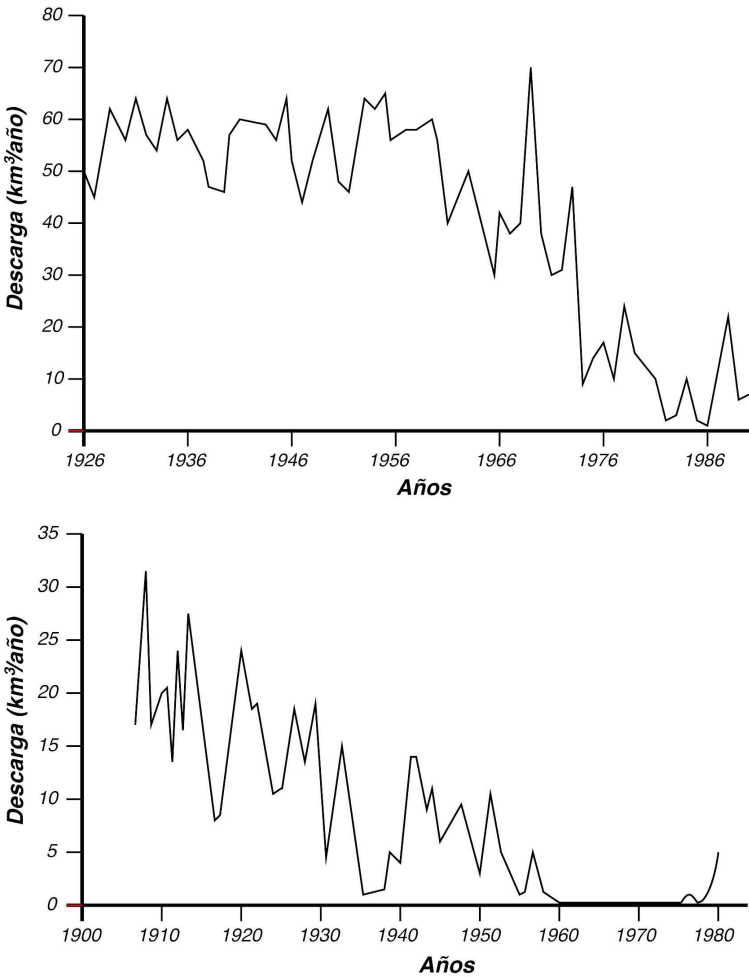


Figura 9.3: (a) Disminución de la descarga en kilómetros cúbicos por año, en un río afluente del mar Aral en Asia. (b) Dismunución de la descarga en kilómetros cúbicos por año, del río Colorado en EUA. Datos de la referencia [116].

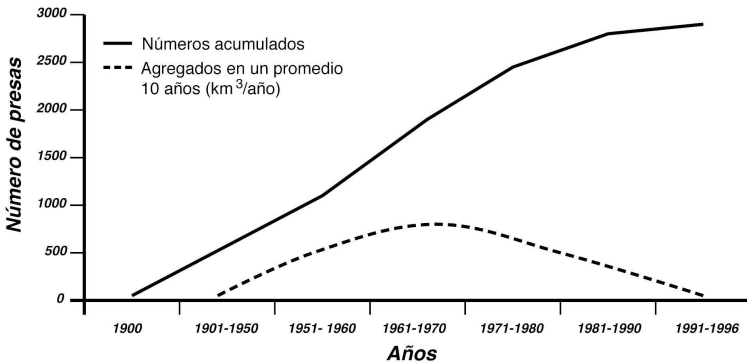


Figura 9.4: (Número total de presas mayores a 0.1 kilómetros cúbicos, construidas después de 1900 hasta 1996. Datos de referencia [116].

po; y ello es válido para especies tan variadas como bacterias, paramecios, árboles, pájaros y mamíferos. Por tanto, al principio su población aumenta muy lentamente y de forma lineal con el tiempo, luego acelera muy rápido de manera exponencial, posteriormente desacelera y se acerca asintóticamente al límite impuesto por sus interacciones con los alrededores. En la práctica, conforme la población se acerca al valor máximo, los recursos alimenticios decrecen, produciendo disminución en la población por hambrunas, lo cual libera recursos alimenticios y produce un aumento temporal de la población seguido por la oscilación correspondiente en alimentos y población. De manera general, los autores consideran que incluso se ha pasado el límite sustentable de población humana en el esquema económico que se plantea un crecimiento infinito, y aconsejan que de manera voluntaria y consciente se reduzca la población humana a niveles que sean sustentables.

9.6. Agricultura y cambio climático

El calentamiento global, según recientes estudios que comentaremos más adelante, disminuye la producción agrícola relativa a los cereales, lo cual afecta negativamente la alimentación humana. De acuerdo con los investigadores Gretchen C. Daily y Paul R. Ehrlich [118], en el mediano plazo el déficit de una tonelada de granos básicos equivale a la muerte por hambre de dos personas. En lo que sigue nos referiremos al efecto del calentamiento global sobre la producción de los tres cereales básicos de los cuales depende del 60 % al 80 % de las calorías diarias que consume cada habitante del planeta: trigo, arroz y maíz.

Según un reporte periodístico del año 2011, de la Sección de Investigación y Medio Ambiente de la BBC, realizado por Mark Kinver [119], los estudios del investigador David Lobell de la Universidad de Stanford, permiten afirmar que: los cambios en el clima mundial en las últimas tres décadas se han asociado con una disminución del 5.5 % en la producción global de trigo.

Adicionalmente, en estudios controlados, Lobell encontró que el aumento de un grado centígrado en el calentamiento local del medio ambiente del cultivo de trigo se traduce en un decrecimiento global de 5 % en la producción; considera que predecir lo que ocurrirá en condiciones reales que correspondan a un promedio mundial requiere muchas consideraciones respecto a la valoración de todos los posibles factores ambientales que influyen en la producción de la planta de trigo: radiación solar, humedad, etc.

De acuerdo con un reportaje de la BBC, de la Sección de Investigación y Medio Ambiente realizado en el año 2010 por Richard Black [120], un grupo de científicos encontró que, en los últimos 25 años, la producción de arroz en Asia ha caído entre el 10 y el 20 % en algunas localidades como zonas de

Vietnam, China e India, en las cuales la temperatura nocturna se ha incrementado. En particular, se ha encontrado que la producción de arroz en Filipinas ha caído un 10 % por cada grado centígrado de incremento en la temperatura nocturna. Según Jarrod Welch, en un artículo publicado en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* de EUA, afirma que su grupo ha encontrado que ya sea que la temperatura diaria mínima se incremente o que las noches sean más calientes la producción de arroz disminuye. Según dichos autores, si bien el mecanismo involucrado no está claro, pareciera que las plantas de arroz tienen que respirar y evo-transpirar más durante las noches calientes que durante las frías, gastando más energía en esos períodos sin poder aprovechar la situación para realizar fotosíntesis.

Para entender los efectos que el calentamiento global en tiene sobre la producción del maíz, mostramos la Figura (9.5), la cual proviene del referencia [121]. En esta figura se advierte una correlación entre la disminución de la producción del arroz y maíz con el aumento de la temperatura; para el maíz es un poco menor que para el caso del arroz. La disminución corresponde aproximadamente a 5 % menos por cada grado centígrado de aumento de temperatura. En un estudio de revisión realizado por Peter Sinclair [122] acerca del efecto del calentamiento global como amenaza a la producción global de trigo, comenta que, según las fuentes <http://economictimes.indiatimes.com/topic/globalwarming> y <http://www.natureasia.com/en/highlights/details.php?id=1636>, las ondas de calor extremo que se generan debido al calentamiento global, pueden disminuir la producción mundial de trigo más allá de lo evaluado con los modelos utilizados previamente para realizar predicciones de producción, esto porque provocan un envejecimiento acelerado en las plantas de trigo, disminuyendo la capacidad de producción de las plantas (de acuerdo con un estudio publicado en *Nature*

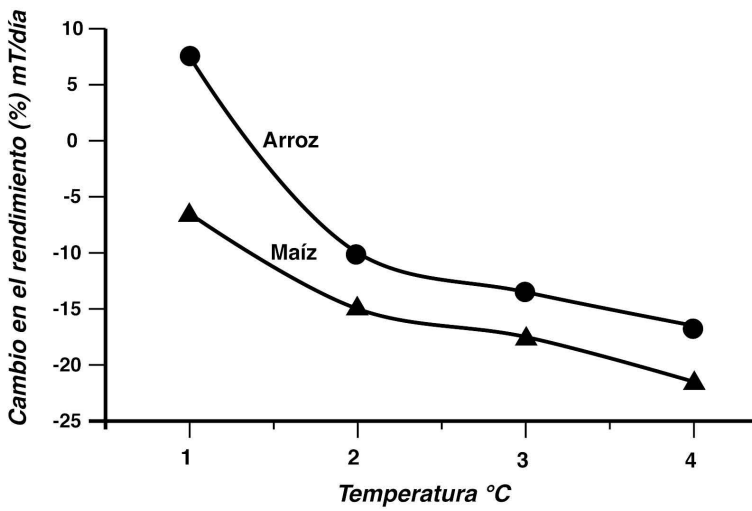


Figura 9.5: Producción de maíz y arroz en función del incremento en la temperatura de los trópicos según el promedio de trece simulaciones. Datos tomados de la referencia [121].

Climate Change). La misma fuente aporta un dato importante del profesor Swaminathan: *por cada grado centígrado que aumente la temperatura media la pérdida de producción de trigo en India será de seis millones de toneladas por año*, lo que para una producción total de 75 millones de toneladas implica una disminución promedio de 8%.

Algunos ajustes posibles a nivel de unidades agrícolas de producción ante el cambio climático.

El investigador William E. Easterling de EUA [123], en un trabajo de revisión, apunta algunas propuestas de adaptación para sus campesinos ante el cambio climático a nivel de las unidades primarias de producción, como son:

- Tomando en cuenta el corrimiento del patrón de lluvias correr el momento de siembra en las latitudes más al norte, se sembraría previo de lo usual durante la primavera, lo cual podría ayudar a que las plantas maduraran antes de que se presentaran las temperaturas elevadas de la mitad del verano.

- Se podrían utilizar tácticas para conservar la humedad como mantener una cubierta vegetal después de obtener la cosecha principal, más que introducir los desechos vegetales del cultivo debajo de la superficie por medio del arado de volteo; ello ayudaría a proteger el suelo de la erosión y aumentaría la capacidad de infiltración del suelo, amén de mantener la humedad del suelo. La modificación del microclima se puede lograr, por ejemplo, con la introducción de cinturones o hileras de árboles y vegetación alta alrededor o entre las zonas de cultivo para reducir el viento, y la evo-transpiración de los suelos cercanos.

9.6.1. Producción de cereales y precios en los últimos años

De acuerdo con un artículo escrito en 2008 por David Gutierrez, del Natural News [124]: la sequía, causada por el cambio climático, ha dado lugar a una caída en la producción de trigo y a un incremento en los precios internacionales de los alimentos. Expertos de todo el mundo están preocupados sobre el efecto que el incremento de los precios de los cereales tendrá sobre la vida de los pobres. Según un reporte del 2007 de las Naciones Unidas, el costo de las importaciones de alimentos de los países más necesitados se ha incrementado en 24 %, lo cual significa un desembolso total de 107,000 millones de dólares.

9.6.2. Cambios en la disponibilidad de agua debido al cambio climático y sus efectos en la población mundial

De acuerdo con un estudio efectuado por Barnett y compañía [125], las regiones donde cae nieve en invierno o regiones cuya dinámica hídrica está dominada por glaciares en cordilleras montañosas, están experimentando cambios acelerados debido al calentamiento global. En invierno se tendrá menos cantidad de agua en forma de nieve o hielo, y se derretirá muy rápidamente, ocurriendo el máximo de flujo en un período corto de la primavera. En particular, en dichas zonas está comenzando el deshielo antes de la época normal y esto eventualmente ocasionará que las capacidades de almacenamiento de agua, construidas en el pasado, no sean suficientes, y mucha de esa agua que antes se liberaba lentamente a lo largo de la primavera y el verano se pierda, sin uso, hacia los océanos; con ello sin duda alguna disminuirá la producción agrícola de dichas zonas. En ellas vive actualmente una

sexta parte de la población mundial. El estudio del impacto del calentamiento global indica que será severo. Estas regiones incluyen partes del norte de China, noroeste de India, sub-cuencas debajo del sur de los Andes, zona nor-central de EUA, y algunas regiones costeras del oeste de Norteamérica, Europa y las praderas de Canadá. De estudios computacionales se ha concluido, que si se duplica la concentración de dióxido de carbono en Canadá y regiones similares la temperatura del aire aumentará ocho (8) grados centígrados en invierno.

¿Resolverán los cambios en los patrones de precipitación pluvial los problemas asociados con el calentamiento global? En la mayoría absoluta de los casos la respuesta es: no. Si cae menos lluvia sobre una región, habrá menos disponibilidad de agua. Si cae mucha lluvia es muy probable que la capacidad de almacenamiento de agua sea superada y el agua se perderá camino al océano. Ejemplos de lo anterior son los siguientes:

En la cuenca del Rin en Europa, las simulaciones climáticas proyectan un incremento de temperatura de entre 1.0 y 2.4 grados centígrados respecto a la temperatura actual para alrededor del año 2050. Las implicaciones socioeconómicas de ello serían una reducción en la disponibilidad de agua para la agricultura, la industria y el uso doméstico en los meses de mayor demanda. En Suramérica, en la región de los Andes, una gran fracción de la población depende de los escurrimientos paulatinos de los glaciares, tanto en forma de suministro de agua para los ríos como para la operación de las hidroeléctricas. Al desaparecer los glaciares, la economía y la población asociadas a la región se verán sujetos a ajustes tremendos. El impacto será mayor en la región de los Himalayas. La desaparición de los glaciares asociados en las próximas décadas afectará negativamente el suministro de agua para China y ciertas partes de Asia, incluyendo India. En las regiones afectadas actualmente habita entre el 50 % y el 60 %

de la población mundial. La masa de hielo en dicha región es la tercera más grande del mundo después de las regiones de Groenlandia (ártico) y la Antártida. Los pocos estudios científicos de esa región sugieren tanto una anticipación en el flujo máximo de agua de deshielo en primavera de 30 días, así como un incremento en el volumen de deshielo de entre 33 % y 38 %. Resultados similares han sido obtenidos en el oeste de EUA.

De manera cuantitativa, los cambios por regiones en la precipitación pluvial en el mundo serán [126]: un incremento del 10 % al 40 % en las precipitaciones pluviales en el este de África ecuatorial, la región de La Plata, y altas latitudes tanto de Norteamérica como en Eurasia, y de 10 al 30 % de decrecimiento en las precipitaciones en el sureste de África, sureste de Europa, en las regiones del medio este, oeste medio y sur de Norteamérica para el año 2050. Tales cambios en la accesibilidad al agua de manera sustentable, traerán consecuencias considerables a escala regional, tanto para las economías como los ecosistemas asociados. En relación al sureste de EUA y norte de México, en el año 2007 se realizó un estudio comparativo entre 19 modelos computacionales de pronóstico sobre la precipitación pluvial en el sureste de EUA y norte de México, en un trabajo llamado *Proyecciones acerca de una inminente transición a un clima más árido en el sureste de EUA y norte de México* [127]. El estudio comprendió un período que va desde 1900 hasta el año 2080. En la Figura (9.6) se presentan los datos modelados de los cambios en la precipitación media anual menos la evaporación. En la gráfica se observa que para dicha cantidad ocurre un decrecimiento aproximadamente lineal con el tiempo en el período que va de 1900 a 2020; aproximadamente en el año 2020, la precipitación media anual menos la evaporación presenta una transición y sigue decayendo linealmente pero de manera más rápida. Los modelos utilizados en la referencia [128], mues-

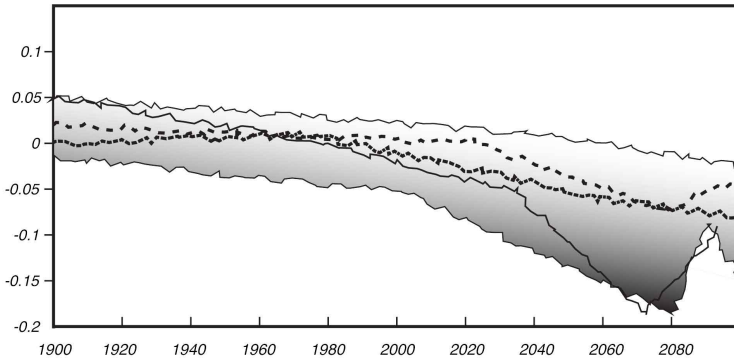


Figura 9.6: Se presentan modelos de precipitación media anual menos la evaporación en milímetros desde 1900 a 2100. La conclusión de los autores de dicho estudio, es que es inminente una transición a un clima mas arido en el sureste de EUA y norte de México. Tomada de [127].

tran con gran consenso que del año 2000 al año 2100, en el norte de América del Norte, la precipitación pluvial se incrementará más o menos linealmente con el tiempo en un 15 %, y que en el sur de EUA y norte de México, en ese mismo lapso la precipitación, en los veranos decrecerá en un promedio de 20 %.

Capítulo 10

Ecosistemas, Recursos y Energía

10.1. Disminución de especies de vertebrados de 1970 al año 2010

Sabemos que la humanidad, junto con todas las demás especies del planeta, para su existencia depende de los ecosistemas con los que interactúa y de los que, quiera o no, forma parte. La degradación de nuestros alrededores biológicos planetarios afecta y afectará la capacidad del planeta de sostener vida; y en retroalimentación, ello disminuirá el número de personas que puede proveer el planeta. La extracción y procesamiento de muchos recursos naturales por la especie humana tiene efectos degradatorios sobre los ecosistemas, más allá de lo que comúnmente se percibe. “Estamos utilizando los recursos del planeta más rápido de lo que se renuevan mediante procesos naturales, los últimos datos indican que la huella ecológica de la humanidad se ha triplicado desde 1961, a la fecha del 2006, fecha esta última en la cual hemos alcanzado un 25 % adicional a la capacidad anual de regeneración plane-

taria” [129]. ¡Además dicha huella sigue creciendo linealmente con el tiempo! Aún en un plano egoísta de falta de respeto a las otras formas de vida, con dicha conducta la humanidad está destruyendo el capital natural que le ha permitido vivir como hasta la fecha.

De acuerdo con la World Wildlife Foundation, en el año 2000 la Tierra tenía 40 % menos especies de vertebrados que 30 años antes en 1970, favor de ver la Figura 10.1. Para el 2010 por extrapolación, deberíamos rondar una disminución del 50 % en el número de especies de vertebrados que existían en 1970. Los vertebrados, para existir, requieren de la existencia de los ecosistemas naturales donde habitan. El ritmo de disminución de especies animales reflejan el ritmo de desaparición de los ecosistemas donde solían habitar, no sólo ellos están en grave riesgo de desaparecer, también la humanidad. Todos estos problemas se agravan aún más si tomamos en cuenta que, según la ONU, la población humana para el año 2050 habrá ascendido a 9,000 millones de habitantes, lo cual representa un aumento del 47 % respecto a la que existía en el año 2000.

10.2. Producción de cemento, hierro y acero; su dependencia con los energéticos, en particular con el carbón de coque

10.2.1. Producción de hierro y acero

El acero es indispensable para la producción de energía y su transmisión a largas distancias; Es básico en toda la industria pesada. Se utiliza en la manufactura de equipo de minería, equipo de producción de la industria petrolera y de gas,

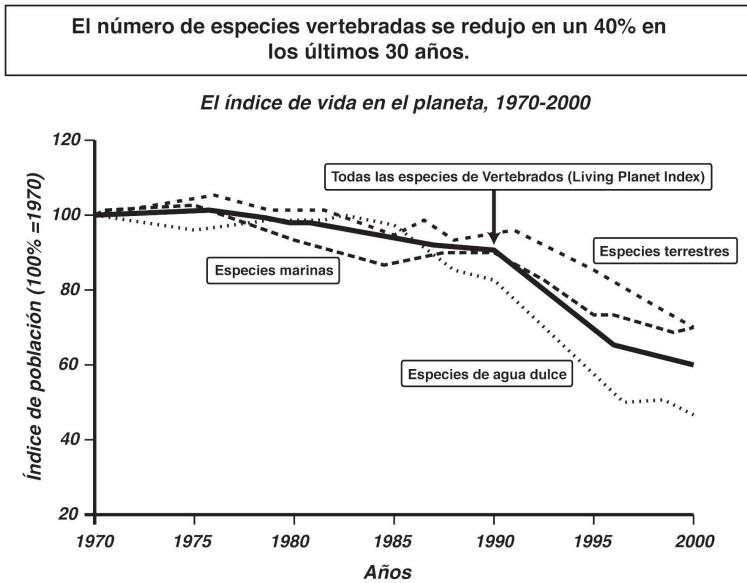


Figura 10.1: Índice de vida del Planeta, se muestra el decremento de los especies vertebradas, especies terrestres, marinas y de agua dulce desde 1970. Datos publicados por WWF en el año 2004.

líneas de conducción y almacenamiento de gas y petróleo; en el transporte: barcos, trenes, aviones, autos; termoeléctricas, motores, transformadores y generadores eléctricos de gran tamaño, torres de transmisión y cables; y distintas partes estructurales en todas las fuentes de energías alternativas. En la industria energética su costo de producción es cubierto por la producción de energía por un factor de miles de veces [131].

De acuerdo con la *World Steel Organization* la producción total de acero crudo en 2010 fue de 1,414 millones de toneladas; lo cual significó un incremento promedio anual de 15 % respecto al año anterior [132]. Este incremento se debe fundamentalmente a la producción de los países que se muestran en el Cuadro (10.1). El Cuadro 10.1 se construyó con los datos de la referencia [133]. La producción de China corresponde al

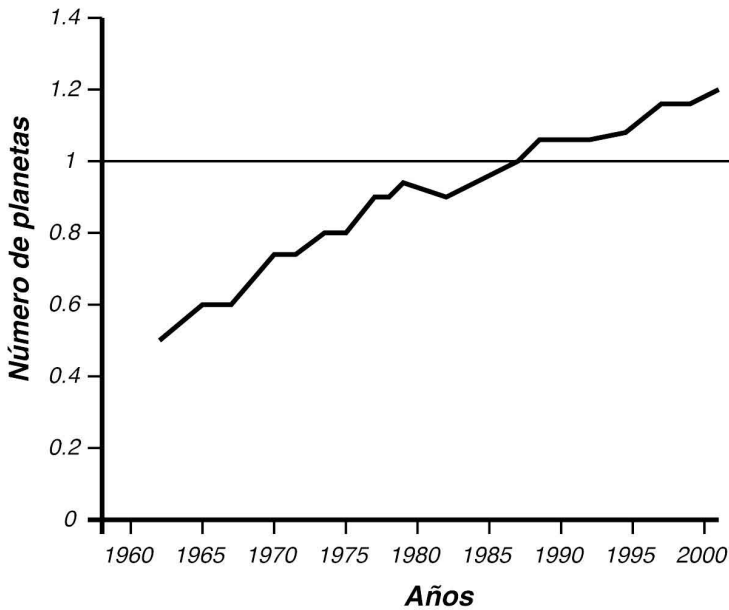


Figura 10.2: Huella ecológica de la humanidad (1961-2000). Se muestra el incremento de la demanda humana de recursos renovables a la biosfera de 1961 al 2001, tomando como referencia los recursos disponibles en un planeta. Datos de la referencia [130].

44.32 % de la producción mundial; la producción conjunta de China, India y Rusia alcanza el 53.78 % del total. Mientras que el crecimiento de la producción de acero de China, India y Rusia corresponde con el ritmo de crecimiento promedio de su economía, queda claro que los ritmos de crecimiento de la producción de acero por parte de EUA, Alemania y Japón están muy por encima de su crecimiento económico (más de diez veces más grande que su ritmo de crecimiento económico), por ello se espera una preparación para la guerra; lo análogo se infiere de Brasil, cuya economía creció al 3.1 %, aunque en su caso sería armarse para la defensa mediante el uso de recursos internos.

Cuadro 10.1: Producción Mundial de Acero

Rango	País	Producción en 2010	Incremento % al 2011
1	China	626.7	9.3
2	Japón	109.6	25.2
3	EUA	80.6	38.5
4	Rusia	67.0	11.7
5	India	66.8	6.4
6	Corea del Sur	58.5	20.3
7	Alemania	43.8	34.1
8	Ucrania	33.6	12.4
9	Brasil	32.8	23.8
10	Turquía	29.0	14.6

Para el desarrollo de nuevas fuentes energéticas se requiere de acero en cantidades muy grandes; por lo que cobra importancia tener una idea clara de con qué cantidad de mineral de hierro se cuenta, y cuanta energía cuesta la producción de una tonelada de hierro o acero.

El hierro es uno de los minerales más abundantes, compone el 5 % de la corteza terrestre. A nivel mundial los recursos de mineral de hierro se estiman en 800,000 millones de toneladas; y como el mineral en promedio mundial tiene entre el 65 y el 70 % de hierro, entonces se cuenta potencialmente con 230,000 millones de toneladas de hierro [132].

La producción mundial depende en un 68 % del uso de carbón de coque como combustible para convertir el mineral en hierro. Se utilizan 761 millones de toneladas por año en la producción de hierro o acero, lo cual corresponde al 12 % del consumo anual de carbón. Con los niveles de producción actuales, las reservas alcanzan para 119 años [132]. El método de producción básico de hierro crudo es a través de hornos del tipo BOF (Basic Oxygen Furnace), horno básico de oxígeno.

Para producir una tonelada de acero se requiere 1,400 kg de mineral, 770 kg de carbón, 150 kg de caliza, y 120 kg de acero reciclado [132]. Así que la producción de una tonelada de acero o hierro, a partir de mineral de hierro, sin utilizar acero reciclado, requiere de 875 kg de carbón de coque.

10.2.2. Producción de cemento y necesidades energéticas

La necesidad social de producción de cemento es más intuitiva para la población en general que el caso de la producción de acero. El cemento es utilizado para infinidad de construcciones como puentes, casas, edificios, carreteras, canales de riego, etcétera. Las materias primas utilizadas para la producción del cemento son minerales que contienen: óxido de calcio (44%), óxido de silicio (14,5%), óxido de aluminio (3,5%) y óxido de hierro (3%), más otros componentes. La extracción de estos minerales se hace en canteras, los minerales se convierten en polvo en molinos dentro de los cuales simultáneamente se producen reacciones químicas mediante alta temperatura, dichos procesos son muy demandantes de energía.

La industria del cemento requiere energéticos para realizar la producción de cemento y el carbón de coque proporciona el 60.8% de la energía en el mundo para dicho propósito. La cantidad de energía utilizada para producir un kilogramo de cemento es aproximadamente de 500 gramos de carbón de coque, o 4.88 MJ/kg [134]. De dicha energía, 82.75% se emplea en piro-procesamiento, el 11.7% en molienda.

La producción mundial de cemento en 2010 fue de 3,300 millones de toneladas, de las cuales el 54.5% (1,798 MT) fue consumida por China. Desde 2007 la producción mundial ha crecido a un ritmo anual de 7.33%, muy cercano al ritmo de

crecimiento de la economía China [134].

En el año 2002, de la producción mundial de acero (580 millones de toneladas) el 10 % se utilizó para la elaboración de concreto ¹ armado [135]. Entre 1990 y el año 2000, la producción de cemento creció 55 % en los países en desarrollo mientras en los desarrollados solo creció un 3 % [135].

En 1992, EUA produjo alrededor de 80 millones de toneladas de cemento, las que requirieron $0,5 \times 10^{15}$ Btu's, lo cual era en ese tiempo aproximadamente el 0.6 % del uso total de la energía por EUA, y el costo de dicha cantidad de cemento representó el 0.06 % del Producto Interno Bruto. Ello significa que la producción de cemento es 10 veces más intensiva en el uso de la energía que el promedio de la economía de ese tiempo [136].

¹Recordemos que el concreto está formado aproximadamente de 80 % de agregados como grava, arena, cal, y menos de 0.1 % de aditivos químicos; 8 a 15 % de cemento, 2 a 5 % de agua. La energía utilizada en la producción de concreto es de 0.89 MJ/kg.

Capítulo 11

Energy Return on Investment: Cantidad de Energía Obtenida por Unidad de Energía Invertida para Aprovechar una Fuente Energética

11.1. Introducción

La cantidad de energía que se obtiene por unidad de energía invertida para aprovechar una fuente energética *EROI* es un método para evaluar la factibilidad de fuentes, presentes o futuras, de energía, la cual fue propuesta originalmente por el investigador Charles A. S. Hall. En este capítulo presentamos una versión resumida de dicha técnica [137-138] y poste-

riormente resumiremos la versión dinámica de ella debida a Michael Dale y colaboradores [139], la cual permite evaluar el cambio en *EROI* para fuentes energéticas cuyas reservas geológicas están en proceso de agotamiento, como es el caso de los hidrocarburos.

Hasta el año de 2008, la sociedad humana mundial y sus gobiernos nacionales normalmente tomaba decisiones (sobre asuntos importantes) considerando los aspectos políticos y económicos de costo-beneficio. Dichos análisis consideran tendencias futuras de los precios involucrados y ello ha funcionado bien en el pasado, desde el punto de vista de la economía en abstracto. Después del estallido del comienzo de la crisis del 2008, análisis del tipo anterior no parecen tener sentido como guías para la acción humana en asuntos fundamentales como la supervivencia de la especie y el desarrollo de nuevas fuentes energéticas.

Hall define *EROI* como la cantidad de energía obtenida por unidad de energía invertida para su obtención como sigue:

$$EROI \equiv \frac{E_O}{E_I} > 1 \quad (11.1)$$

Donde E_O = Energía Obtenida, y E_I = Energía Invertida. Define también $EROI_{ext}$ como una modificación que incluye no sólo la energía requerida para obtener sino también para usar la energía obtenida. La definición formal es:

$$EROI_{ext} \equiv \frac{E_O^*}{E_I^*} > 1 \quad (11.2)$$

Donde aquí E_O^* es la Energía Obtenida por la Sociedad y E_I^* es la Energía que se Invierte para Obtener, Transportar y Usar dicha energía.

11.2. Ganancia energética y evolución biológica

De acuerdo con investigaciones hace más de medio siglo por Kleiber, Morowitz y Odum entre otros, la interdependencia entre la ganancia energética y la evolución biológica es tan general, que plantas y animales están sujetos a una presión evolutiva tremenda para que sobrevivan quienes hagan las cosas correctamente en un plano energético. Esto es que tienen que asegurar que cualesquier acción importante que realicen les aporte más ganancia energética que lo que cuesta realizarla; y que además, les dé mayor ganancia que cualquier actividad alternativa que realicen ellos o sus competidores.

Estudios realizados por antropólogos acerca de la etapa de caza y recolección, indican que los seres humanos actuaban de manera a maximizar su propio retorno energético en relación a la inversión realizada. En dicha etapa *EROI* tenía un valor de 10, lo cual significa que en promedio obtenían 10kcal, por kcal invertida.

11.3. Combustibles fósiles

A través de la historia, la humanidad ha explotado distintas fuentes energéticas de manera empírica o primitiva; en todos esos casos se ha ido incrementando la rapidez de explotación de esos recursos naturales tanto energéticos como no energéticos. En relación con los combustibles fósiles, para carbón *EROI*, es del orden de 80 a uno; mientras que actualmente para el petróleo y gas a nivel mundial es de 20. En otras palabras, por cada barril de petróleo o su equivalente invertido en buscar y producir más petróleo, actualmente se entregan 11 barriles de petróleo a la sociedad. Actualmente se está utilizando un barril de petróleo para encontrar dos

o tres barriles de petróleo; si esta tendencia continua en dos décadas tomará un barril de petróleo encontrar uno nuevo, y entonces el petróleo cesará de ser una fuente de energía. Esto significa que la pregunta principal no es necesariamente de qué magnitud son las reservas globales de petróleo, sino, más bien, de qué tamaño es la porción que puede ser extraída con un balance positivo de energía, y a que rapidez pueden ser producidos combustibles con alto valor de *EROI*.

Algo que ejemplifica el asunto es el caso de la obtención de petróleo a partir de arenas bituminosas, se emplea un barril de petróleo para realizar el proceso de obtención de dos barriles de las arenas.

El problema de fondo con las energías alternativas, respecto a los combustibles, es que ninguna tiene las siguientes características:

1. Suficiente densidad energética,
2. Transportabilidad,
3. Bajo impacto ecológico,
4. Un valor relativamente alto de *EROI*,
5. Abundante en la escala demandada por la sociedad actual.

De acuerdo con estadísticas oficiales de la Agencia de Información sobre Energía de EUA (U.S. International Energy Agency), el costo medio de la energía para el consumidor es del 9 % del total de la economía de EUA [137]. Si dicho costo se duplicara estaríamos en el 20 % del gasto de toda la economía; esta situación repercutiría fuertemente en todos los aspectos de la vida diaria. Supongamos que la especie tiene a su disposición una energía neta del 90 % de 100 quads (10^5 EJ), esta cantidad de energía se reduciría a 80 quads si el

costo de la energía se duplicara (como sucedió en la primera parte del 2008), o bajaría a 60 quads si se volviera a duplicar de nuevo. Desde esta perspectiva es claro que *EROI* es una herramienta conceptual extremadamente importante para definir la futura economía basada en otro energético distinto a los fósiles, y la calidad material de vida que pueda ser sustentable con respeto a otras formas de vida que conforman nuestro ecosistema global planetario.

11.4. Valor mínimo de *EROI* para el petróleo

En esta sección se destaca que además de la energía necesaria para extraer el petróleo de la tierra se deben considerar toda la energía relacionada con las acciones necesarias socialmente para que el petróleo llegue al consumidor final; esto se presenta como un ejemplo de lo que se debe buscar para cualquier otro tipo de energético a desarrollar en un futuro cercano para satisfacer las necesidades de la sociedad.

- Costos energéticos de la extracción: 10 %
- Costos energéticos y pérdidas en las refinerías: 10 %
- Otros productos derivados del petróleo de uso distinto a combustibles: 17 %
- Costos medios de transportación: 5 %¹

¹Este valor proviene del siguiente cálculo. En camión (3.58 MJ por toneladamilla), el petróleo pesa aproximadamente 136 kilogramos por barril. Costos de transportación por tuberías (0.52 MJ por toneladamilla). Considerando solamente traslado por camión y un traslado medio de 600 millas.

Con estas simples consideraciones es claro que a la salida del pozo de explotación necesitamos por lo menos un $EROI = 1.4$ En el punto de uso, sin embargo, hace falta considerar aspectos como:

1. La construcción y mantenimiento de los vehículos que transportan el petróleo,
2. Construcción y mantenimiento de carreteras, puentes etc.,
3. Depreciación de los vehículos, costos de seguros,
4. Gastos energéticos debidos a las necesidades de vida de los empleados relacionados directamente con el circuito energético. Esto se entiende con el ejemplo de un taxista: uno no sólo paga la gasolina por kilómetro recorrido sino lo relacionado al conjunto del asunto.

Cuando se toman en cuenta todos los aspectos energéticos relacionados con la producción y entrega al consumidor del combustible para su uso, resulta que el valor mínimo del $EROI$ es de (3.0). Producimos tres barriles de petróleo para que después de procesado pueda ser utilizado en la realidad social mínima. Por supuesto que este valor de $EROI$ sólo aporta un valor desnudo del mínimo para la civilización necesaria para producir y utilizar el petróleo y que decaerá en alrededor de 30–50 años, y posteriormente serán incapaces de exportar petr’oleo, por no poder producir acero para tuberías, etc. Con la civilización actual, que desarrolla medicina, educación, arte, y demás actividades que utilizan energía pero no contribuyen directamente a conseguir más energía u otros recursos, se requiere que $EROI$ tenga un valor aproximado a 10. Toda fuente de energía alternativa que no aporte un valor de $EROI$ de 10 (diez a uno entre energía obtenida entre energía invertida) en realidad está siendo subsidiada por la economía general del petróleo.

11.4.1. Impacto directo de la disponibilidad de energéticos fósiles para la vida cotidiana

Algo que no percibimos los ciudadanos comunes del actual mundo moderno, es cómo se vivía antes de tener el alto ritmo de gasto energético diario que permite la quema del petróleo. Según Hall [140], el gran ritmo de uso de combustibles fósiles que se hace en EUA, equivale a que cada estadounidense tenga a su disposición las veinticuatro horas del día de 60 a 80 trabajadores manuales muy fuertes (trabajadores o esclavos energéticos) que realizaran labores tales como serrar madera para que tengamos combustible para cocinar y calentar el agua con que se bañan, transportarlos, sembrar, regar y recoger sus cosechas, tejer las ropas, etc. ¿Qué pasará cuando estos hipotéticos trabajadores que nos proporcionan los combustibles fósiles comiencen a disminuir en número y eventualmente dejen de existir? Para los mexicanos estos números estarán en promedio entre 12 y 18 esclavos virtuales.

11.5. Variaciones dinámicas de la función “Energy Return On Investment”

En esta sección vamos a tratar el caso de cuando la función *EROI*, cambia con el tiempo en un mismo sitio de explotación de un recurso energético, o cómo cambia con la localización de los sitios prometedores de algún recurso energético. Este estudio se basa en un resumen del trabajo publicado en 2011 por Michael Dale, Susan Krumdieck y Pat Bodgeret de la Universidad de Canterbury de Nueva Zelanda, en la revista *Sustainability* [139]. Según dichos autores, la sociedad huma-

na anualmente utiliza 500 Exa-julios (1 Exa-Julio= 10^{18} J) de energía primaria de todas las fuentes de energía combinadas, de los cuales el 85 % provienen de combustibles fósiles.

De acuerdo con los autores, el sector energético para producir energía capaz de hacer trabajo, recibe dos recursos del resto de la economía: energéticos que permiten hacer funcionar los equipos del sector energético y capital físico producido previamente por la especie humana, como las plantas físicas que deben colocarse en el lugar del cual se va a extraer la energía del medio ambiente local escogido por sus características específicas, como el caso de las torres de extracción de petróleo, turbinas de viento, hidro-turbinas en las presas que generan electricidad, etc.

Por lo cual es necesario determinar la Energía Neta obtenida E_N después de extraer y procesar el energético correspondiente para poder llevarlo a condición de uso por la humanidad.

$$E_N = P - (S_1 + S_2) \quad (11.3)$$

Dónde: P es la producción total de energía del sector energético, S_1 es la energía necesaria para que trabaje el sector energético, y S_2 la energía almacenada en forma de capital-hecho-por-humanos (HMC), correspondiente a las plantas físicas que deben ponerse en el sitio de donde se va a extraer la energía del medio material que la porta o permite extraerla. El cociente entre la energía producida P por la energía necesaria para producirla ($S_1 + S_2$), es conocido como el cociente de la energía obtenida por unidad de energía invertida para obtenerla, $EROI$.

$$EROI = \frac{P}{(S_1 + S_2)} \quad (11.4)$$

La reducción en la Energía Neta de la explotación de un recurso no renovable como el petrolero o el carbonífero puede ocurrir por diversas razones:

- El flujo de energía obtenido del recurso explotado puede declinar debido a un aumento en la producción de agua del campo petrolero o carbonífero.
- Se puede requerir más energía para extraer el recurso no renovable que va descendiendo en cantidad y en concentración; además de tener que extraerlo de mayor profundidad cada vez.
- Mezcla de ambas situaciones.

En todos los casos anteriores, la cantidad de energía requerida para obtener la unidad de energía se incrementa con el transcurso del tiempo, por lo cual el valor de E_N y *EROI* disminuyen con el tiempo. De acuerdo con Dale y colaboradores [139], el valor medio *EROI* para carbón e hidrocarburos en el mundo pasó de un valor de 20 a un valor de 6 entre 1960 y 1980.

Una idea del cambio general de *EROI* como función del tiempo para todo recurso no renovable en todo el mundo, lo aportan los datos experimentales correspondientes al estado de Louisiana [140], (véase la Figura 11.1). Usualmente, durante la producción temporal de un recurso no renovable, el papel de la inversión en el incremento de la infraestructura es la de conseguir los medios físicos para aumentar la producción anual. En este marco la curva de Hubbert (véase la Figura 11.2), aparece como sigue: La producción anual, P , del recurso no renovable. Si la producción es simétrica entonces la rapidez máxima de incremento en la producción anual, $(dP/dt)_{MAX}$ ocurre en el punto de inflexión en $T_{1/4}$, y según los autores de este reporte (Montemayor-Aldrete et al): después de ese tiempo (dP/dt) disminuye su valor hasta alcanzar el valor cero en el máximo de P (Con P_{MAX}) el cual ocurre en $T_{1/2}$. La dependencia temporal de P antes de $T_{1/4}$ es exponencial con el tiempo y después es de tipo sigmoideal

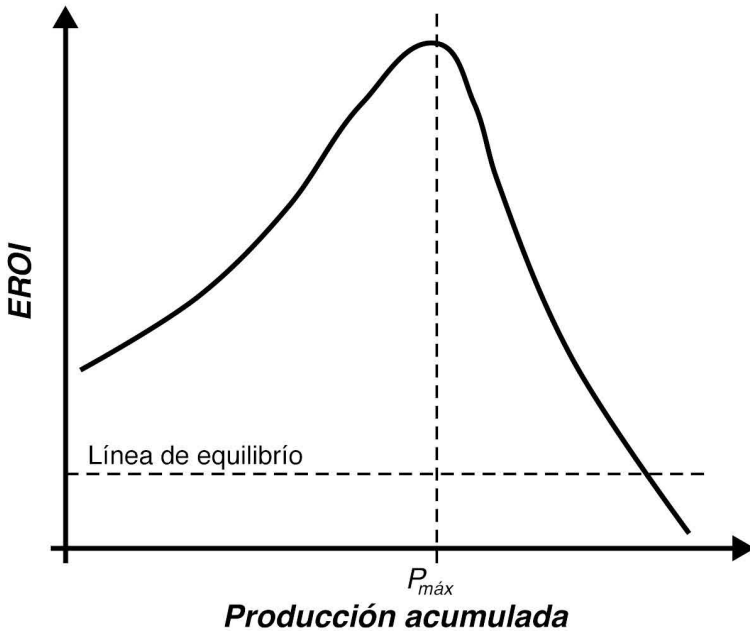


Figura 11.1: Evolución del valor de *EROI* correspondiente a la producción de petróleo y gas en el Estado de Louisiana, como función de la producción acumulada, implícitamente del tiempo de explotación [140].

(crece aproximadamente lineal con el tiempo) hasta alcanzar el valor máximo en P_{MAX} . A partir del máximo, P decrece aproximadamente de manera lineal con el tiempo y después del $T_{3/4}$ decrece exponencialmente con el tiempo. Para el caso de los hidrocarburos a nivel mundial los autores esperamos pues un decaimiento aproximado lineal desde un poco más allá del 2005 y a partir del 2028 comenzará un decaimiento exponencial, con un agotamiento efectivo mundial alrededor del año 2051. Los problemas mundiales en relación a este recurso vital comenzarán mucho antes, por ejemplo con una guerra mundial alrededor de fines del año 2015.

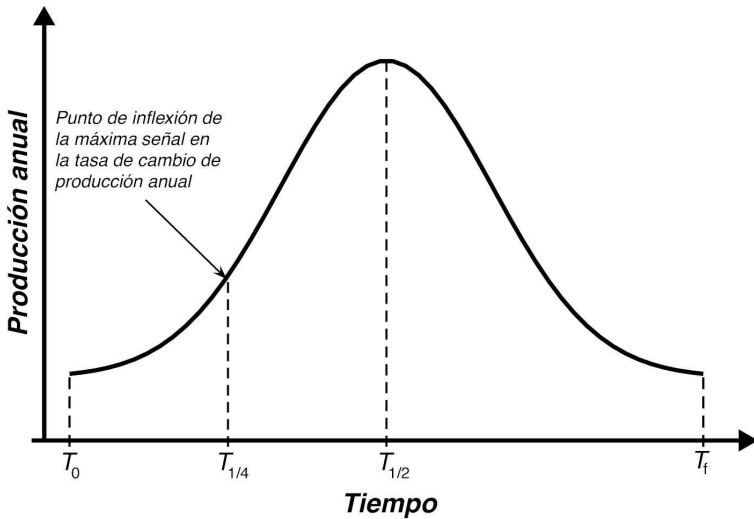


Figura 11.2: Curva de Hubbert.

La primera derivada respecto al tiempo de la producción anual P , dP/dt

$$\frac{dP}{dt} \propto (EROI) \times (INVESTMENT) \quad (11.5)$$

La figura anterior implica que la inversión en infraestructura se incrementa exponencialmente desde el instante inicial de comienzo de la explotación hasta $T_{1/4}$. Después de ese punto cada inversión de capital produce un retorno menor en el incremento de la rapidez de producción de energía anual, $(dP)/dt$. Como *EROI* es el factor físico que correlaciona la inversión de capital y la rapidez de producción de energía, entonces después de $T_{1/4}$, *EROI* debe estar decreciendo y por tanto debe haber llegado a su valor máximo un poco antes del tiempo $T_{1/4}$ en el ciclo de producción.

Dale y colaboradores [139] suponen que la función *EROI* es el producto de dos funciones. La primera representa el aspecto tecnológico denotado por $G(p)$, el cual incrementa la ga-

nancia energética como una función del aprendizaje tecnológico durante la producción acumulada del recurso en cuestión; según los autores de este reporte (Montemayor-Aldrete, et al.) siguiendo a Marchetti [44], este factor obedece una curva sigmoïdal como función del tiempo; esto es, al principio crece exponencialmente y después de alcanzar un punto de inflexión, el factor tiende asintóticamente a un valor máximo constante. La segunda función, que llamaremos $H(p)$, representa la declinación temporal de la calidad del recurso físico bajo explotación, la cual en los casos de recursos no renovables, tiende a ser una función exponencial que decae con la producción acumulada y normalizada, p .

$$EROI = G(p) \times H(p) \quad (11.6)$$

Donde la producción acumulada normalizada, p , se define como:

$$p \equiv \frac{P}{URR} \quad (11.7)$$

Donde P es la producción acumulada al tiempo t ; y URR en este caso particular según Dale y colaboradores, es la cantidad última o máxima de recursos que puede ser recuperable aportando una energía neta positiva.

11.6. Funciones que componen *EROI*

11.6.1. Componente tecnológico, $G(p)$.

Existen dos factores que pueden influir dicho componente de la función *EROI*: cuánta energía se requirió o está embebida dentro del equipo utilizado para extraer la energía, y qué tan bien realiza el equipo la función de extraer la energía del yacimiento o fuente correspondiente. Es evidente que los factores anteriores están sujetos estrictamente a límites físicos

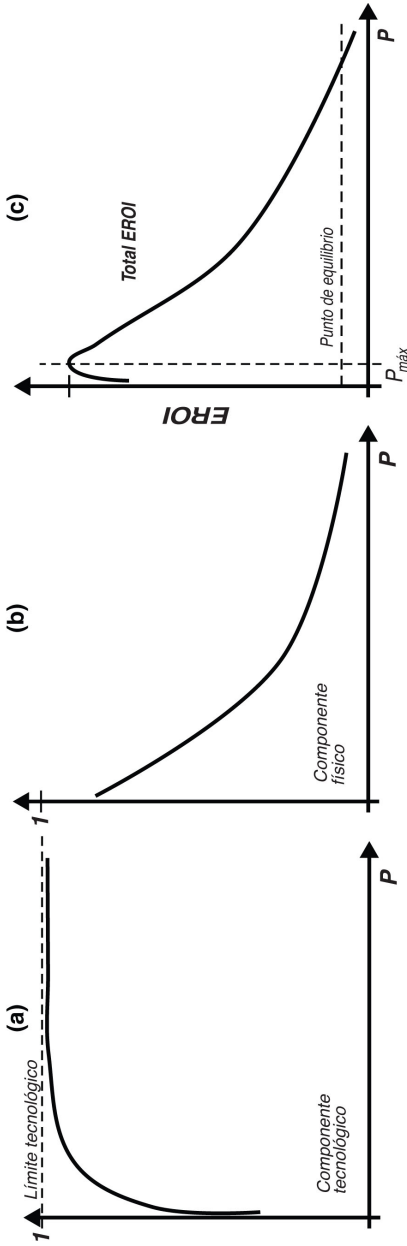


Figura 11.3: (a) Gráfica de la función $G(p)$. (b) Gráfica de la función $H(p)$. (c) Producto de las funciones $G(p)$ y $H(p)$. Tomadas de Dale et al.

impuestos por las leyes naturales. En general, las curvas de aprendizaje tecnológico tienen, como hemos dicho anteriormente, forma sigmoïdal, como la escogida por Dale y compañía [139],

$$G(p) = 1 - Xe^{-\chi * p}. \quad (11.8)$$

Donde $0 < X \leq 1$. Aquí X representa el valor inicial de la tecnología inmadura, y χ representa la rapidez de aprendizaje tecnológico a través de la experiencia adquirida durante la explotación del recurso en cuestión, el cual en principio puede ser dependiente tanto de factores sociales como físicos. Ellos consideran que esta rapidez es constante durante el proceso de explotación del recurso.

11.6.2. Proceso de agotamiento del componente físico, $H(p)$

El componente físico de la función *EROI* del recurso no renovable bajo explotación declina como función de la producción, simplemente porque, en general, las fuentes de un recurso determinado que ofrece el mayor retorno de capital es el primero en ser explotado, luego la actividad de explotación se dirige hacia recursos que ofrecen menores retornos del capital conforme la producción global de dicho recurso continúa. En otras palabras, mientras avanza la explotación de un recurso finito, el mismo se vuelve cada vez más escaso en su entorno natural. Existe información experimental sólida que muestra que los costos de explotación de dicho tipo de recursos se incrementan exponencialmente, con factores como los siguientes: el incremento en la profundidad del yacimiento, la distancia al centro de demanda, y la necesidad de implementar medidas de protección ambiental [141]. Sobre esta base Dale y sus colaboradores [139], proponen la siguiente forma

matemática para $H(p)$,

$$H(p) = \Phi e^{(-\phi * p)}. \quad (11.9)$$

Donde $0 < \Phi \leq 1$. Aquí Φ representa el valor inicial de la componente física, y ϕ representa la rapidez de degradación del recurso bajo explotación; de nueva cuenta esta rapidez se supone constante durante la explotación del recurso.

11.7. La función *EROI* para recursos renovables

A diferencia del caso de los recursos energéticos no renovables, en el cual *EROI* es función únicamente de la producción acumulada, en el caso de los recursos renovables la componente física de *EROI* es una función de la producción anual. El componente tecnológico, $G(p)$, sigue siendo función de la producción acumulada, la cual sirve de medida aproximada de la experiencia adquirida durante la explotación del recurso. La disminución con el tiempo en la componente física de *EROI* para este tipo de recursos representa que los sitios óptimos fueron escogidos anteriormente. Esto ocurre para fuentes como la energía eólica, solar, etc.

11.7.1. Energía eólica

En EUA, el Laboratorio Nacional de Energías Renovables, ha publicado sus datos acerca de cómo disminuye la fracción porcentual de áreas que aportan una energía eólica como función de la densidad de potencia por metro cuadrado, W/m^2 , disminuye exponencialmente con el área, hasta que exhibe una caída drástica a una densidad de energía de aproximadamente de $250 W/m^2$. El corte del área considera-

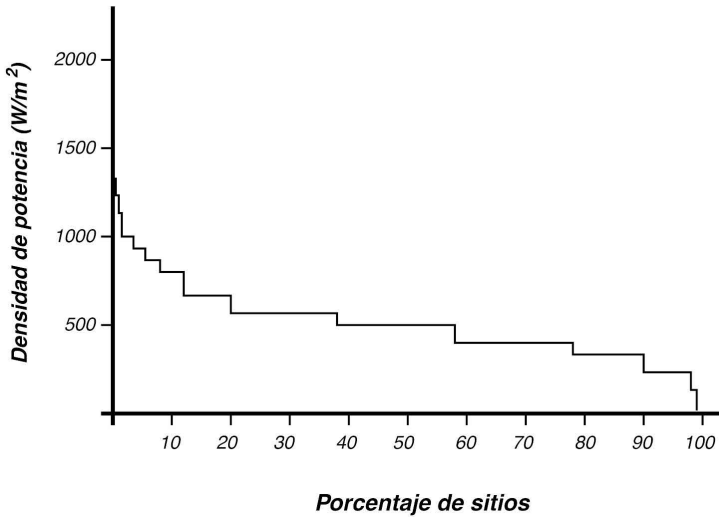


Figura 11.4: Relación entre la potencia que aporta el viento por unidad de área y como función del porcentaje del área total que aporta dicha energía. Tomada de la referencia [139].

da se establece para ese valor de energía por unidad de área, ver la Figura 11.4.

11.7.2. Energía solar

Una situación similar se presenta para el caso de la energía solar. De acuerdo con los datos de la base nacional de radiación solar de EUA, la curva de flujo de energía solar por unidad de área, ($\text{Wh}/\text{m}^2/\text{dia}$) como función del porcentaje de área que aporta dicha energía se presenta en la Figura 11.5. La densidad del flujo de energía solar declina exponencialmente como función del área total desde un máximo que corresponde a $8,000 \text{ Wh}/\text{m}^2/\text{dia}$.

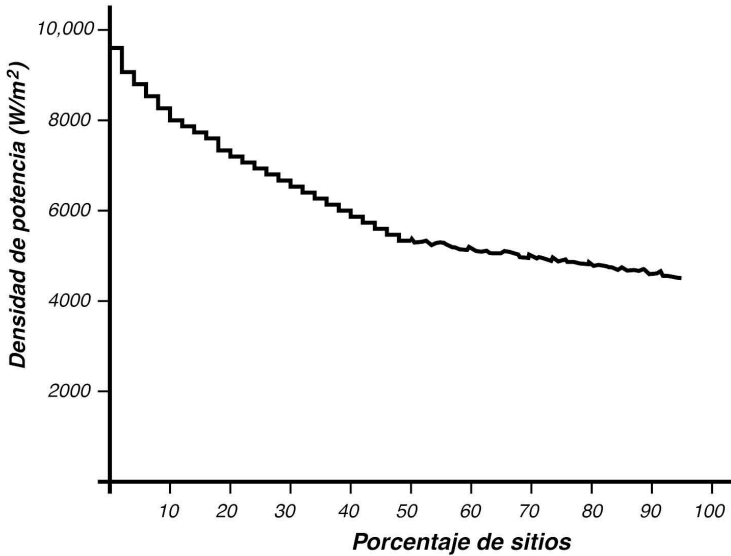


Figura 11.5: Densidad de flujo de energía solar como función del porcentaje de sitios (área) que produce tal flujo. Vemos que que el flujo decrece de forma exponencial.

11.7.3. Hidrocarburos

No deja de ser significativo que para un recurso no renovable como el petróleo ocurra algo similar a la boca de un yacimiento, por ejemplo, en el caso de un pozo de producción reportado por Brandt [142], para un período que cubre desde 1955 al año 2005.

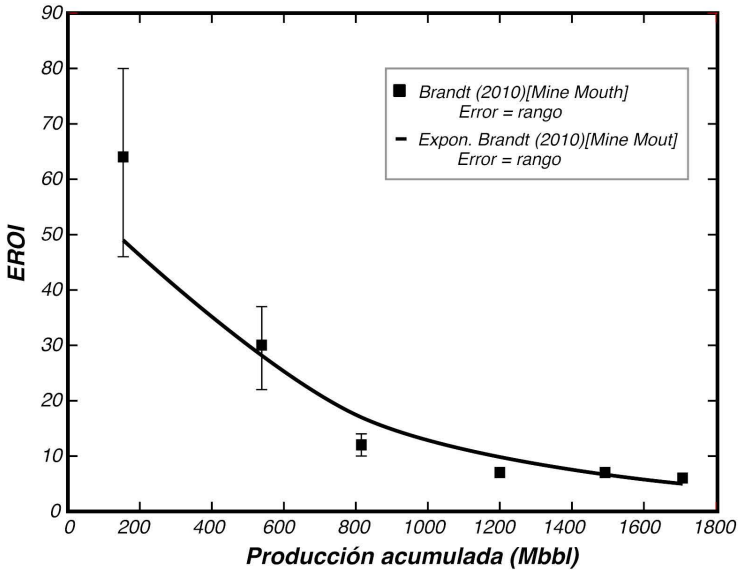


Figura 11.6: Variación del valor del *EROI* como función de la producción acumulada, para un pozo petrolero en el Estado de California EUA, durante su período de explotación. Tomada de referencia [142].

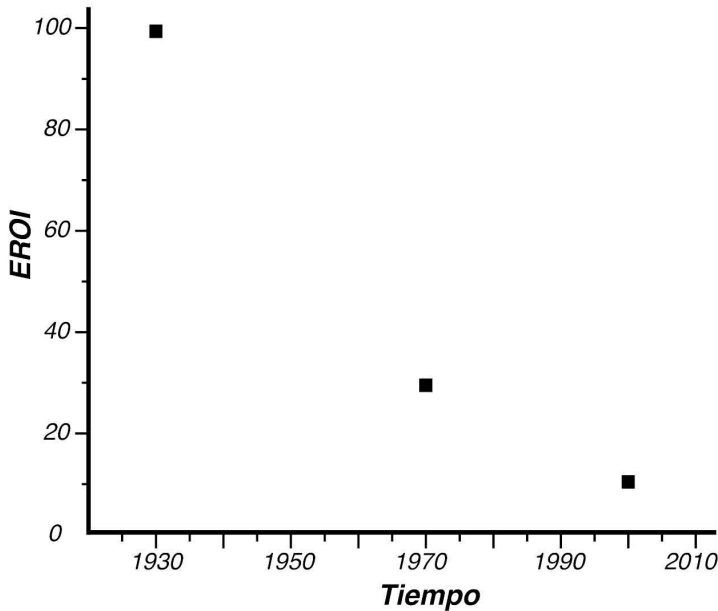


Figura 11.7: Variación del valor medio del *EROI* correspondiente al petróleo extraído en EUA como función del tiempo, del año 1930 al 2000. Nótese que este intervalo el valor va de 100 a 11. Construida a partir de los datos de la referencia [143].

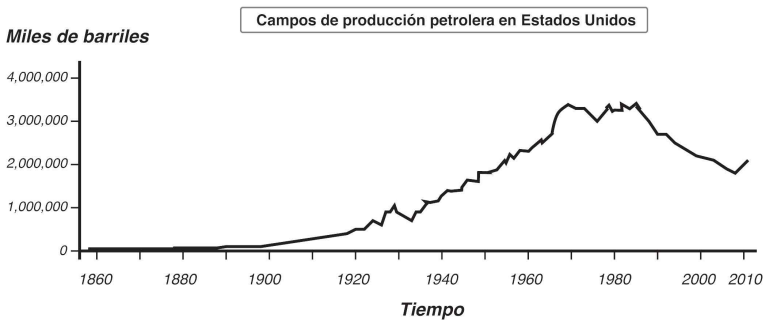


Figura 11.8: Producción del petróleo en EUA de 1860 al 2010 según información oficial de ese país [144].

Capítulo 12

EROI e Inversión Económica para la Explotar una Fuente Energética

El modelo de Dale et al [139] no puede expresar la rapidez de producción anual, $\dot{P}(t)$, como función del capital invertido en infraestructura en el ramo energético.

Nosotros hemos incluido en su análisis dichos parámetros, expresando esta en términos de la energía y del capital invertido. En ambos casos las ecuaciones son proporcionales a $EROI(t)$. Veamos: Si en la ecuación (11.4) para $EROI(t)$ consideramos un valor medio de la rapidez de producción anual, $\dot{P}(t)$, esto es $\bar{\dot{P}}$ definido como

$$\bar{\dot{P}} = \frac{1}{T_{op}} \int_0^{T_{op}} \frac{dP}{dt} dt \quad (12.1)$$

Donde T_{op} , es el tiempo de vida media de operación del Capital Hecho por el Hombre (HMC), construido con una energía

S_2 , almacenada en forma de capital físico como máquinas e instalaciones de la industria energética, y en este caso S_1 , es la energía necesaria para que trabaje el sector energético durante el período de tiempo T_{op} . Entonces la Ec. (11.4) aparece como:

$$EROI = \frac{(\bar{P} \times T_{op})}{(S_1 + S_2)} \quad (12.2)$$

De la cual se puede obtener la siguiente expresión para \bar{P} ,

$$\bar{P} = \frac{(S_1 + S_2)}{T_{op}} \times EROI \quad (12.3)$$

Si siguiendo a Dale et al [139], definimos el factor de capital, κ , como un cociente de energías,

$$\kappa \equiv \frac{S_2}{(S_1 + S_2)} \quad (12.4)$$

Entonces es claro, según los autores del presente documento, que es necesario definir el capital HMC en función de la energía requerida para construir dicho capital en forma física (máquinas e instalaciones de la industria energética).

$$HMC = f_{(\varepsilon-c)} S_2 \quad (12.5)$$

Donde $f_{(\varepsilon-c)}$ es el factor medio de conversión de energía en capital físico (máquinas e instalaciones de la industria energética) expresado en dinero en la época de producción de dicha infraestructura.

De dicha expresión se puede despejar S_2 y sustituirlo en la ecuación (12.4), quedando la expresión para κ de la siguiente forma:

$$\kappa \equiv \frac{1}{(S_1 + S_2)} \frac{HMC}{f_{(\varepsilon-c)}}. \quad (12.6)$$

Y de Ec. (12.2), $1/(S_1 + S_2)$, puede escribirse como

$$\frac{1}{(S_1 + S_2)} = \frac{EROI}{\bar{P} T_{op}}, \quad (12.7)$$

con lo cual

$$\kappa = \frac{1}{f_{(\varepsilon-c)}} \frac{HMC}{\bar{P}} \frac{EROI}{T_{op}}, \quad (12.8)$$

O lo que es lo mismo

$$\bar{P} = \frac{1}{f_{(\varepsilon-c)}} \frac{HMC}{\kappa} \frac{EROI}{T_{op}} \quad (12.9)$$

Es inmediato que el uso de la ecuación anterior nos permite predecir el valor medio de la rapidez de producción anual de una fuente energética no renovable como función de $EROI$, el factor de capital, κ , el factor medio $f_{(\varepsilon-c)}$, de conversión de energía en capital físico (máquinas e instalaciones de la industria energética) expresado en dinero en la época de producción de dicha infraestructura, y el tiempo de vida media, T_{op} , de operación del capital físico hecho por el hombre (máquinas e instalaciones de la industria energética).

Un problema que hasta donde sabemos los autores de este documento no se ha abordado en el marco energético, es el siguiente: ¿cómo tratar el asunto de los recursos no energéticos y no renovables?

12.0.1. Recursos no energéticos y no renovables, y su dependencia en función del tiempo

Definamos la energía disipada, E_{ij} , necesaria para producir una masa M_i del recurso j , M_{ij} . Dicha masa se obtiene mediante el uso de la energía, S_2 , utilizada para producir las instalaciones y maquinaria necesarias para el procesamiento de los materiales de los que se obtiene el recurso; y de la energía, S_1 , necesaria para operar dicha maquinaria o instalaciones y obtener el recurso M_{ij} .

$$E_{ij} = \frac{M_{ij}}{(S_1 + S_2)} \quad (12.10)$$

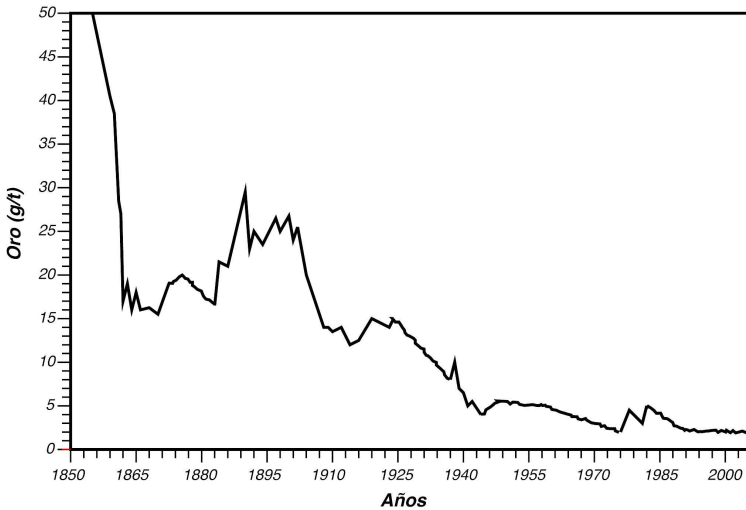


Figura 12.1: Disminución de la concentración de oro en gramos por tonelada en las minas de Australia, entre los años de 1865 y el año 2000 [145].

El problema que surge en relación con los recursos no renovables, es que al ir explotando el recurso j , en general, la ley o concentración del mineral del cual se extrae dicho recurso disminuye con el avance de la explotación. Esto último se ilustra en las Figuras 12.1 y 12.2, la primera y a plomo, la segunda; las dos corresponden a valores promedio de las minas de Australia. Nótese que en el caso del oro se pasa de 50 gramos por tonelada en 1865, a 2 gramos por tonelada en el año 2000. Obviamente lo mismo pasa para metales no preciosos, como el plomo y otros recursos.

Las curvas generales del tipo de las dos anteriores significan, lisa y llanamente, que se requiere cada vez más energía para obtener la misma cantidad del recurso no renovable j .

En una primera aproximación, uno esperaría que el costo energético fuera inverso al valor de la concentración del

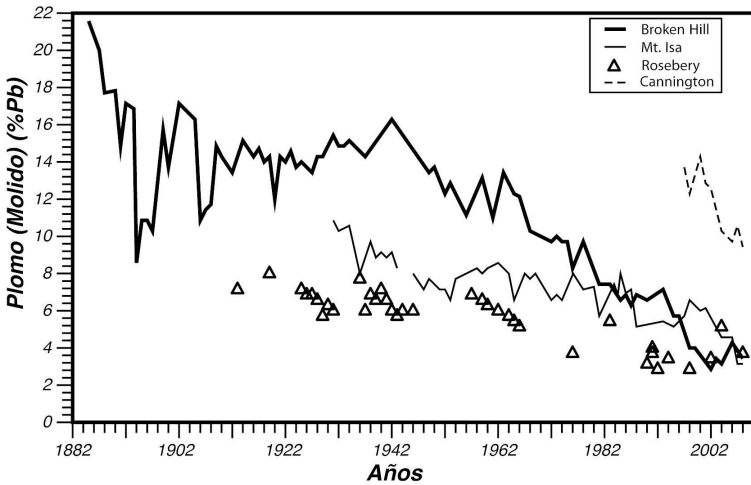


Figura 12.2: Disminución porcentual de la concentración del plomo en las minas de Australia, entre los años de 1882 y el año 2005 [145].

recurso j como función del tiempo. Esta dependencia arrojaría el valor mínimo correspondiente a que se mantuviera el mismo proceso tecnológico, y sólo se tuviese que procesar más cantidad de material para obtener la misma cantidad del recurso deseado. Si cambia el proceso tecnológico o debe aumentar la profundidad de extracción del recurso de interés, el incremento energético para obtener el recurso será mayor que el incremento correspondiente a la disminución de la concentración únicamente. Por tanto, la ecuación (12.10) deberá transformarse en,

$$E_{ij}(t) = E_{ij}(t_0) \frac{C_j(t_0)}{C_j(t)} \frac{M_{ij}(t)}{M_{ij}(t_0)}. \quad (12.11)$$

Donde, $E_{ij}(t_0)$ viene dado por,

$$E_{ij}(t_0) \equiv \frac{M_{ij}(t_0)}{(S_1(t_0) + S_2(t_0))}. \quad (12.12)$$

Donde t_0 es el tiempo inicial del problema correspondiente. Como en general el evaluar $E_{ij}(t)$, es difícil por cuanto no se tienen a disposición los valores de S_1 y S_2 debido a que la sociedad no está acostumbrada a llevar este tipo de contabilidad en términos energéticos, podemos idear de manera temporal el siguiente procedimiento aproximado: Averiguamos el valor promedio mundial (en dinero) de la unidad de peso del metal o recurso no renovable de interés para un tiempo relativamente lejano en el pasado. Luego averiguamos la equivalencia de esa cantidad de dinero en petróleo. Esta última cantidad nos da una idea aproximada del costo energético para la obtención de la unidad de tal recurso en ese año. A partir de ahí, podemos determinar su evolución temporal mediante la utilización de la ecuación (12.11). Este tipo de evaluaciones, realizadas de manera cuidadosa con ayuda de economistas, debería ser útil para la determinación de los costos energéticos de producción de metales u otros recursos estratégicos, durante la época de la transición energética de combustibles fósiles a energéticos alternativos (como por ejemplo, el más viable a nivel mundial en escala de alta potencia: geotermia de roca seca caliente). Este tipo de análisis nos permitirá obtener curvas como la siguiente:

12.1. Un aspecto esencial de la energía neta

David Murphy [146], destaca un aspecto esencial de la ecuación (11.3),

$$E_N \equiv E_{OUT} - E_{IN} = P - (S_1 + S_2) \quad (12.13)$$

Y reescribe la ecuación para $EROI$ como sigue:

$$EROI = \frac{E_{OUT}}{E_{IN}} \quad (12.14)$$

Al resolver la ecuación de $EROI$ para E_{IN} y sustituirla en la ecuación para la energía neta Ec. (12.13), se obtiene:

$$E_N = E_{OUT} \left(\frac{EROI - 1}{EROI} \right) \quad (12.15)$$

La ecuación anterior puede escribirse como

$$\frac{E_N}{E_{OUT}} = \left(1 - \frac{1}{EROI} \right) \quad (12.16)$$

La relación que existe entre la Energía Neta (como cociente de E_{OUT} y $EROI$), produce un valor umbral de $EROI$ de alrededor de 8. Lo anterior se ilustra en la Figura (12.4), elaborada por los autores de este reporte. En esta figura puede observarse que debido a la naturaleza asintótica de la curva anterior para valores altos de $EROI$, existe poca diferencia en el flujo de energía neta entregada por tecnologías que arrojen valores de $EROI$ arriba de 8. El asunto es que los procesos de extracción-conversión para energéticos con valores de $EROI$ debajo de 8, resulta en diferencias grandes en los flujos de energía neta. Por ejemplo, una caída del valor de $EROI$ en la extracción de petróleo de 50 a 10, resultará en un cambio en la energía neta de 98 % (del flujo neto de energía) al 90 %. Sin embargo, una caída del valor de $EROI$ de 10 a 2 resulta en un cambio en la energía neta del 90 % al 50 % en el flujo global de energía. Lo anterior es una buena razón para considerar que si bien el valor de $EROI$ para una fuente energética es importante, ello no significa que una fuente como el carbón, con valor de $EROI$ de 80, sea el doble de buena que la hidroelectricidad, la cual tiene un valor de $EROI$ de 40; esto debido a que la diferencia real en el flujo de energía entre estas dos fuentes es muy pequeño, por cuanto ambas entregan un porcentaje de alrededor de 90 en energía neta. Lo anterior significa que, cuando estemos sustituyendo los combustibles fósiles por renovables, sea más importante evitar tecnologías

con valores de *EROI* menores de 8 que tratar de igualar valores altos de *EROI*. Una diferencia significativa entre los valores de *EROI* calculados para combustibles fósiles de aquellos calculados para tecnologías para obtener energía de fuentes renovables, se debe a la naturaleza intermitente de las fuentes renovables. Casi todas las fuentes de energía renovable exigen la adopción de algún sistema de almacenamiento para tomar en cuenta los períodos de sobreproducción y de producción escasa. Si tomamos en cuenta este hecho, los valores de *EROI* decrecerán casi seguramente por debajo del valor de umbral de *EROI* correspondiente a 8.

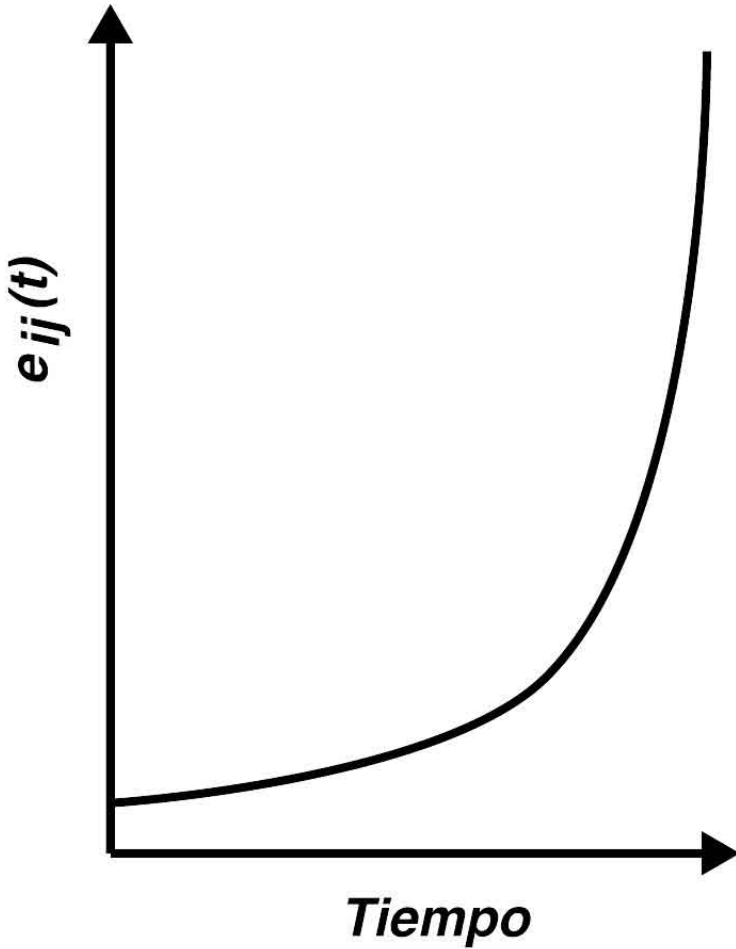


Figura 12.3: Figura esquemática. $e_{ij}(t) \equiv (E_{ij}(t))/(M_{ij}(t))$, representa la energía necesaria para producir la unidad de masa del recurso M_{ij} al tiempo t . Nótese que conforme avanzamos en la explotación del recurso (Véase las dos figuras previas a esta), crece muy rápido el costo energético de su producción. Este problema se tornará particularmente agudo en una época en que no sólo las concentraciones de los minerales de explotación más importantes están disminuyendo sino también está disminuyendo por agotamiento acelerado la producción energética de fuentes de origen fósil.

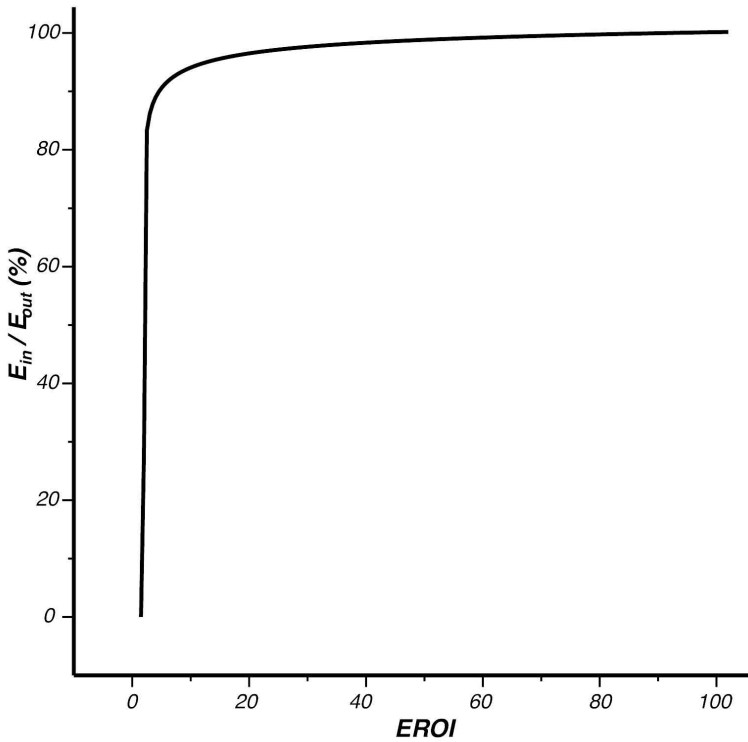


Figura 12.4:
Relación entre $EROI$ como función del cociente de las energías E_{in}/E_{out} .

Capítulo 13

Análisis de Fuentes Alternativas Utilizando los Criterios del *EROI*

13.1. Criterios para aplicar *EROI*

En lo que sigue haremos un breve resumen del importante trabajo de Richard Heinberg [147] acerca de ciertos criterios adicionales al cálculo directo de *EROI*, el cual propone el autor para evaluar las fuentes alternativas energéticas.

De acuerdo con Richard Heinberg [147], existe un estado permanente de negación por parte de los economistas que apoyan el sistema económico actual, el capitalismo, para aceptar que no puede seguir el crecimiento económico por mucho tiempo más, pues el planeta muestra ya claros signos de colapso. De manera que todos los humanos necesitamos realizar cambios sustanciales en nuestros estilos personales de vida, y cambiar los hábitos de consumo para disminuir el uso de materiales finitos en el planeta. El análisis de Heinberg, si bien deprimente, se basa en hechos. Él concluye que

no existe ninguna combinación de energías alternativas, basadas en innovación científica o tecnológica, que permita seguir el crecimiento capitalista o de ningún otro tipo, y menos a un ritmo de crecimiento exponencial. Según el autor, se debe reducir el consumo a lo esencial, cuidar los recursos escasos y las fuentes energéticas, a la vez que resolver los problemas básicos de la población y se debe reducir la población humana de manera gradual para permanecer dentro de la capacidad de aporte planetaria. “La fiesta ha terminado”, dice Heinberg, y es obligatorio realizar un cambio de sistema económico, o la humanidad sucumbirá. Indica que para la mayoría del mundo la transición energética es más una teoría que una realidad ante la que haya que responder. Para la evaluación de cualquier fuente energética, que sustituya a los combustibles fósiles, propone el uso de nueve criterios adicionales a la energía neta que aporta cada una de ellas:

1. Para ser útil, en la práctica, toda forma de energía debe tener un precio competitivo.
2. La obtención de energía útil y utilizable mediante máquinas e instalaciones, a partir de la fuente original (como por ejemplo, obtención de electricidad a partir del viento) debe ser técnicamente factible en escala masiva.
3. El impacto ambiental de la misma hacia los ecosistemas debe ser el mínimo posible, y no debe heredar problemas graves a las próximas generaciones, ni atentar contra las formas de vida silvestre. Todas las formas de obtención de energéticos producen impacto ambiental, pero unas más que otras.
4. Debe proporcionar energía útil mínimamente por centurias o milenios. Debe tomarse en cuenta que el equipo y las instalaciones requeridas para transformar la energía

original (por ejemplo, solar) en energía útil (electricidad), se desgasta y envejece; y que su construcción requiere el uso de materiales y recursos escasos y no renovables, además de cantidades de energía no despreciables. Debemos llevar a cabo una política eficaz de reciclamiento de materiales estratégicos.

5. Debemos establecer, de manera detallada, la escala de la contribución de cada fuente energética alternativa a la demanda global planetaria o local pues, una cosa es la magnitud de la fuente originaria y otra, la proporción que de ella podemos aprovechar en forma útil, barata y confiable, sin alterar o dañar los ecosistemas del planeta. Es muy fácil que la gente se confunda al hablar de fuentes energéticas sin haber visto su origen o las magnitudes relativas, por ejemplo. La producción de gas metano a partir de desechos de basura municipal puede ser un negocio para algunas empresas, sin embargo, se pierde de vista lo siguiente: los desechos que llamamos basura municipal, son el resultado de productos fabricados o cultivados mediante el uso intensivo previo, en otra etapa de energéticos fósiles. Por tanto, su producción bajará por la disminución del consumo de combustibles fósiles y por el aumento de políticas de ahorro de energéticos que producirán menos basura. En ocasiones, la gente confunde el que un recurso sea renovable con el pensamiento de que es un recurso que se puede explotar a un ritmo muy rápido; como es el caso de bosques que son explotados por medio de la agricultura, siendo recursos que se regeneran solos, sí, pero sólo si los explotamos a un ritmo que permita su regeneración; de otra manera, el bosque se encogerá y terminará por desaparecer. Lo mismo ocurre para especies de animales marinos, entre otros.

6. La localización del recurso energético por explotar puede estar muy distante de los centros de consumo, y ello puede dificultar su explotación por requerir el uso de muchos recursos escasos (como líneas de transmisión eléctrica) para asegurar su llegada a los centros de consumo. Aunque, por otro lado, no existe recurso más caro que el que se necesita y no se puede obtener a ningún precio.
7. La confiabilidad en el suministro es una característica que debe considerarse seriamente, por cuanto no todas las fuentes energéticas aportan energía de manera continua y sin fluctuaciones. El viento no sopla al mismo ritmo durante todas las épocas del año y varía durante la noche; lo mismo pasa en lo que se refiere a la energía del sol, que sólo opera durante el día y con variaciones de origen meteorológico y cinético debido al movimiento aparente del sol durante el día. Y evidentemente, los consumidores no podemos variar fácilmente nuestro ritmo de consumo de acuerdo con patrones estacionales o de ciclo diurno-nocturno. Y además, para el caso de habitaciones y uso doméstico, el consumo de electricidad es mayor precisamente durante la noche, cuando la energía solar no opera, lo cual trae como consecuencia la necesidad de almacenamiento energético producido durante el día, que obviamente encarece la energía correspondiente.
8. La densidad energética de la fuente de energía es muy importante. Esta propiedad se refiere a la cantidad de energía que puede extraerse de la unidad de peso de la fuente; así como a la extensión de área superficial en el planeta que es necesario utilizar para obtener la unidad de energía de un recurso energético específico.

Respecto a la densidad energética por unidad de peso

tenemos un ejemplo: si utilizamos carbón, nos da de 20 a 35 Mega-joules por kilogramo (MJ/kg), el gas natural 55 MJ/kg y el petróleo 42 MJ/kg). Un estadounidense que se cuida de no comer mucho consume un kilogramo de alimentos al día, 2,400 kilocalorías, lo que equivale a 10 MJ/kg. Una batería eléctrica puede guardar solamente entre 0.1 a 0.5 MJ/kg, esto es un aspecto en contra de los autos eléctricos a batería, su gran peso muerto. Con el uso de hidrógeno como portador de energía primaria, obtenida previamente, su densidad energética es también muy baja, aunado a su gran difusividad y reactividad química dentro de las paredes de los contenedores metálicos que lo portan.

La densidad energética por área es la energía obtenida por unidad de área sobre la superficie del planeta, esto cuando la fuente de energía funciona en su estado original. Por ejemplo, en un bosque la densidad de energía por acre está entre 1 y 5 millones de MJ/acre. Si la densidad energética de una fuente muy baja, entonces los costos de explotación se elevan, por cuanto se requiere mucha maquinaria móvil y energía para recolectar el recurso del cual se obtendrá la energía. Si el recurso está concentrado, entonces la inversión en maquinaria se restringirá a procesarlo en el sitio de obtención para obtener el energético deseado.

9. La transportabilidad del energético es también muy importante. En general, los sólidos son más difíciles de transportar, y requieren del uso de más energéticos para hacerlo que los gases o los líquidos. La forma más fácil y barata de transportar energía, es la energía eléctrica; además de que es la forma más útil de proporcionar en toda instalación fabril o domiciliaria.

Capítulo 14

La Técnica *EROI* y el Análisis del Petróleo, Carbón, Gas Natural e Hidroelectricidad

14.1. Petróleo

El petróleo es la fuente energética de mayor uso actualmente, 34% del total mundial, o 181 Exa-julios por año. La producción mundial de crudo es de 75 millones de barriles por día. Los autores del presente reporte aportamos la siguiente información: del total de la producción de petróleo, el 55% se utiliza para necesidades de transporte mundial, según el reporte de Hirsch [147], el cual fue producido por petición del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (entregado por Hirsch en febrero del año 2005 [148]), y el 17% lo utiliza la industria petroquímica [137]. Las reservas mundiales en el 2009 eran de alrededor de un millón de millones de barriles los cuales alcanzan para 20 ó 35 años dependiendo

del ritmo de consumo.

Actualmente el valor del *EROI* para el petróleo a nivel mundial se puede considerar como de 11 a uno. Una forma aproximada de calcular el *EROI* para los tiempos que se avecinan, para el caso del petróleo a nivel mundial o nacional, es dividir la energía producida por la industria petrolera por la energía equivalente a los dólares gastados por la industria del petróleo en exploración y producción.

14.2. Carbón

Se producen 134.6 Exa julios por año, lo que es equivalente al 27 % del consumo mundial de energía. Su uso principal es para la producción de energía eléctrica, acero y cemento. El pico en la producción de carbón en EUA se alcanzará entre los años 2030 y 2035; y para el mundo está calculado en un poco más de 100 años. El problema fundamental, según la búsqueda de información adicional de los autores de este reporte que estás leyendo, respecto a esta fuente energética es que, si no queremos cruzar el umbral del incremento de dos grados centígrados (respecto a la era preindustrial) que pondría en serio peligro de supervivencia a muchísimas especies animales y vegetales (y que asimismo amenazaría la supervivencia de la humanidad), debemos dejar sin explotar el 80 % de las reservas totales que actualmente están bajo tierra. Esto último según Jonathon Hanks, Director Incite del Sustainability del Carbon Disclosure Projects 2012 realizado por el Gobierno de Sudáfrica, con la colaboración de inversionistas privados [149].

Al respecto de la amenaza que para la humanidad significa el calentamiento global, incluso en el año (2012), cada año mueren 5 millones de personas en el mundo debido al calentamiento global, según el reporte internacional “Clima-

te Vulnerability Monitor: A Guide to the Cold Calculus of a Hot Planet (2nd Edition)”, elaborado por más de 50 científicos y economistas expertos en el asunto; así como por 20 comisionados por gobiernos de distintas naciones [150].

El *EROI* para el carbón oscila entre 25 a uno y 50 a uno. Y las consecuencias de su uso para la vida en el planeta, son nefastas; por lo cual se debe suspender su utilización a la brevedad posible.

14.3. Gas natural

Antes se quemaba a la boca del pozo de extracción de petróleo sin darle ningún uso, y esto ocurría hasta fechas recientes en México. Ahora en el mundo, el gas [147] se utiliza para calentamiento de espacios grandes en los países del hemisferio norte, para cocinar y sobre todo, en las industrias que requieren altas temperaturas así como en la generación de energía eléctrica. Su contribución al gasto mundial es de 25%. El *EROI* para el gas natural tiene un valor de 10 a uno. Como puede verse de los datos anteriores, la contribución total de los combustibles fósiles al consumo mundial de energía es del 86%.

14.4. Hidroelectricidad

Esta fuente de energía produce anualmente 2,894 Terawatt hora (*TWH*) a nivel mundial, de los cuales 264 (*TWH*) se producen en EUA. De toda la energía eléctrica, la hidroelectricidad contribuye con el 19% mundial, lo cual representa el 6% de la energía mundial. El *EROI* para la hidroelectricidad tiene un valor que va desde 11.1 hasta 267 a uno, sin embargo, se debe considerar que los mejores sitios ya han sido

desarrollados, y no queda mucho por aumentar, amén de sus consecuencias negativas hacia los ecosistemas naturales. De acuerdo con Wikipedia [151], en el año 2010 el porcentaje de producción de electricidad a nivel mundial que le corresponde es del 16 %.

Capítulo 15

Energía Nucleoeléctrica

Actualmente [147], existen 439 reactores núcleo-eléctricos comerciales operando en el mundo, de ellos 104 están dentro de EUA; de manera global producen 2,658 (*TWH*), de los cuales 806 corresponden a EUA. Esto representa a nivel mundial el 6 % de la producción de electricidad, y para EUA el 19 % de la producción eléctrica.

El pico de producción de uranio se alcanzará presumiblemente para el año 2045, y además, su obtención será cada vez más cara por cuanto la ley de los minerales va cayendo rápidamente conforme las mejores reservas han sido explotadas. El almacenamiento de los desechos radioactivos es muy problemático y peligroso para la vida en general, por cuanto varios de sus componentes tardan decenas de miles de años en dejar de emitir radiaciones letales. Ni aun guardando tales desechos en minas de sal abandonadas se puede garantizar que las fuentes de agua cercanas no van a ser contaminadas dentro de tiempos geológicos cortos. El *EROI* para la energía núcleo-eléctrica tiene un valor de 5 a 8 respecto a uno. Y ello sin considerar seriamente los costos debido al cuidado de la basura radioactiva y sus consecuencias respecto a los ecosistemas cercanos y lejanos, al tomar en cuenta dicho factor

de acuerdo con los autores del reporte que estás leyendo, el *EROI* tendría un valor alto, ¡pero negativo! Veamos un breve resumen de lo más notable respecto a este aspecto en los siguientes párrafos.

Los factores más negativos contra el uso de las centrales nucleares para la producción de electricidad son de tipo ambiental y económico. Si bien el daño específico causado por un accidente depende de las circunstancias geográficas, de factores humanos, de los ecosistemas y ciudades cercanos, así como del tipo específico de instalación nuclear, podemos tener una idea aproximada de las consecuencias que arrojan los accidentes de la categoría más grave a través de un breve resumen de los casos de Chernobyl [152] y Fukuyama [153]. En ambos casos, las barras de combustible nuclear se fundieron al fallar de forma extrema el enfriamiento de las mismas a través de agua, esto condujo a diversas reacciones químico-nucleares que produjeron gas hidrógeno en cantidades tales, que éste rompió las vasijas de los reactores y produjo explosiones de origen químico al reaccionar con el oxígeno atmosférico, con ellos se causó la liberación de gases y materiales radioactivos.

En el caso de Chernobyl, la zona de exclusión tiene un radio de 30 kilómetros, lo que corresponde a un área de 2,900 kilómetros cuadrados, casi el doble del área metropolitana de la Ciudad de México. Finalmente, el área excluida en la zona agrícola y boscosa en que ocurrió, ascendió a 14,410 kilómetros cuadrados [154]. Mientras que en Fukushima el área de exclusión, hasta donde sabemos, es de 20 kilómetros de radio o un área de 1,400 kilómetros cuadrados [155]. El costo total a la fecha del accidente de Chernobyl asciende actualmente a unos 451,000 millones de dólares [156], mientras el de Fukushima se evalúa en 250,000 millones de dólares [157].

En la zona de exclusión de Chernobyl, 20 años después del accidente, se observa que la diversidad en el número de especies ha disminuido en un 50 %, mientras la abundancia

se ha reducido en dos tercios comparado con áreas contiguas no contaminadas. Un estudio completo de las implicaciones hacia los ecosistemas asociados se presentó en el documento de las Naciones Unidas emitido al efecto en el año 2005 [158].

De acuerdo con Arnold Gundersen, experto nuclear de EUA, “Fukushima es la más grande catástrofe industrial en la historia de la humanidad, a pesar de que la cantidad de radiación liberada de los tres reactores de Fukushima fue solo el 10 % de la liberada en Chernobyl” [153]. El efecto que los hechos anteriores han tenido se puede ejemplificar con la propuesta del ahora presidente de Francia, Francois Hollande, quien el 8 de noviembre del 2011 afirmó [159] que propondría que del 75 % de energía eléctrica de origen nucleoelectrico en Francia, se pasara al 50 % en el 2025 y a 20 % en el 2030, si todos los reactores se apagaban al ir cumpliendo 40 años de operación. Sin embargo, esta opción requiere que se construyan 40 plantas termoeléctricas con las consecuencias conocidas respecto a la producción de dióxido de carbono.

De acuerdo con Global Research [160], el costo de un accidente del peor grado en una nucleoelectrica en Alemania podría llegar a costar 7.6 millones de millones de dólares, y podría poner en riesgo de quiebra a la economía de todo el país. En el mismo trabajo mencionado en este párrafo, se destaca que el costo de un accidente de máximo grado en la planta nucleoelectrica de Indian Point, la cual está en una zona donde ocurren terremotos (a 38 kilómetros al norte de Nueva York, EUA), daría lugar a la necesidad de cerrar por 20 o 30 años la ciudad de Nueva York causando daños incalculables a la economía de EUA.

Las consecuencias hacia la salud humana y de los ecosistemas planetarios y la vida toda, causados por una posible Guerra Mundial Nuclear con centro en Medio Oriente en la zona petrolera la abordaremos más adelante.

Capítulo 16

Biomasa

Se conoce con el nombre de biomasa a la energía obtenida de la madera, y otras clases de plantas y desechos de animales (como sus excrementos). Anualmente corresponde a este tipo de energía el 13 % del consumo mundial. La parte fundamental de este tipo de energético lo utilizan 3,500 millones de personas para cocinar sus alimentos y calentarse. Del consumo mundial de madera, el 60 % se dedica a combustible, como hemos descrito, y el restante 40 % se utiliza como material de construcción y para fabricar papel [147]. Actualmente está ocurriendo deforestación en el mundo, especialmente en Africa, América del Sur (en particular en Brasil), México e Indonesia. La biomasa no es un recurso fácilmente escalable hacia mayor explotación, por cuanto afectaría a los ecosistemas naturales; y en las ciudades, dicho recurso no será muy rentable a largo plazo, pues conforme se encarezca la energía, tanto los fabricantes de productos como los consumidores serán más cuidadosos respecto al despilfarro de productos que requieran energía para su fabricación, como del mejor aprovechamiento de los alimentos. Pueden aprovecharse los desechos tanto en la ciudades como en el campo. El aprovechamiento de la biomasa en el campo promueve la ero-

sión de los suelos al quitarles su protección de fibras vegetales, y en las ciudades facilita el empobrecimiento de los suelos al no prever la restitución de desechos vegetales (con los correspondientes elementos químicos como fósforo y potasio, entre otros) a los sitios de producción agrícolas.

De acuerdo con los trabajos de detalle realizados por la autoridad científica mundial más citada en el asunto específico de biomasa y agricultura, David Pimentel informa [161]: “El 30 % de la energía solar que llega a la tierra no cubierta por los mares es cosechada por la especie humana como alimentos o forraje, con un 20 % adicional obtenida como productos forestales. Con lo cual, los humanos actualmente cosechamos aproximadamente el 50 % de la energía solar que produce plantas en el planeta. Esta enorme cantidad reduce la cantidad de biomasa y energía, ambos esenciales para el mantenimiento natural de las bio-poblaciones y de su diversidad. Preservar la biodiversidad de las plantas y animales es vital para mantener un mínimo de integridad del ambiente que permite la vida humana”. Y respecto a la contribución que el desarrollo masivo de tecnologías de energía renovables puede tener para cubrir la demanda actual de energéticos por la especie humana en el planeta Tierra, Pimentel afirma: “el uso de biomasa, hidroeléctricas, fotovoltaicas, aero-generadores (eólicas), y otras tecnologías (excluyendo la geotérmica), produciría un estimado de 200 quads de energía por año (5,040 millones de toneladas de petróleo equivalente), esta producción requeriría el uso de entre el 20 y el 26 % del total de la tierra en los continentes; y sólo sería sustentable para una población máxima de 2,000 millones de seres humanos, proveyendo para cada uno de ellos 5,000 litros de petróleo equivalente por año. Ese valor de consumo energético es de la mitad del consumo anual de los habitantes de Estados Unidos de América” [161].

En términos similares se expresan otros autores, por ejemplo Field y Campbell de Stanford, y David B. Lobell del Law-

rence Livermore National Laboratory [162]: “Las áreas con mayor potencial para la producción de energía de la biomasa sin competir por la producción de alimento para la especie humana, serían los terrenos que se han dedicado al pastoreo y la agricultura en el pasado y que han sido abandonados y no se han convertido ni en bosques ni en ciudades. A escala global estas tierras contribuirían con una energía del orden del 5 % de la energía primaria mundial consumida en el año 2006. Incrementar la producción de energía a partir de biomasa más allá de dicha cantidad reducirá la seguridad alimentaria, la población humana y exacerbará las fuerzas que promueven el cambio climático”. Evidentemente esta no es una opción para países sometidos a limitaciones de agua para agricultura, como es el caso de México.

Capítulo 17

Energía del Viento o Eólica

Es una de las fuentes energéticas con mayor ritmo de crecimiento, entre los años del 2000 al 2007 creció por cinco a nivel mundial; sin embargo, representa menos del 1% de la producción de energía eléctrica mundial. El problema fundamental de dicho tipo de fuente energética de electricidad es su naturaleza intermitente, que aumenta mucho el costo de explotación cuando se compara con las centrales de producción de electricidad a base de carbón, gas o núcleo-eléctrica. Aparentemente, en los países con grandes zonas de viento de alta velocidad, y que no requieren mucha distancia de transmisión de energía eléctrica, los estudios operacionales indican que el EROI es de alrededor de 18 a uno, dentro del intervalo de tiempo de operación a viento pleno, si se toma en cuenta el promedio temporal sobre 24 horas diarias el valor se reduce a un EROI de 6. Las naciones líderes en la capacidad instalada son EUA, Alemania, España, India y China.

En México este recurso no es rentable económicamente para satisfacer las necesidades de energía de toda la Nación; pues la producción potencial promedio a 80 metros sobre el

nivel del suelo sería de un quinto a un décimo de la producción del mismo tipo de plantas en el norte de Europa, norte de Estados Unidos de América y la punta sur tanto de Australia como del cono sur en Latinoamérica. Lo anterior se puede deducir de los datos presentados por los investigadores Archer y Jacobson de la Universidad de Stanford [163] en su evaluación global de la potencia del viento. Además, está el factor de horas de operación diarias en función de la velocidad media del viento, según datos experimentales [164] para el promedio del caso de México (4 a 5 metros por segundo), el factor es de 500 horas por año, mientras que para los casos del norte de Europa y de EUA ya mencionados, dicho factor es de 3,500 horas por año; lo cual implica que la misma planta eólica en dichos lugares en promedio produce entre 35 y 70 veces más energía que colocada en una zona al azar en México.

La excepción en México es una zona muy pequeña conocida como La Ventosa, Oaxaca, la cual junto con el litoral de la península de Baja California, presenta condiciones favorables para desarrollar el potencial eólico. A la fecha se producen mil Mega watts de energía eólica, y su techo será de aproximadamente 4 o 5 mil Mega watts que producirán las empresas españolas asentadas en México.

Las limitaciones de la obtención de energía eléctrica del viento para México quedan claras cuando, aun un país como Dinamarca [165], el cual está por completo dentro del área de máxima velocidad de viento en Europa, sólo aspira a que para el año 2020, el 43.10 % del total de su producción eléctrica (41.09 TWh/año) sea obtenido de la energía eólica. Cuando su necesidad total de energía primaria será de 217,96 TWh/año. Por lo anterior, es claro que los números oficiales dados a conocer por el Licenciado Felipe del Sagrado Corazón de Jesús Calderón Hinojosa (también conocido como Felipe Calderón Hinojosa), de futuros 71 mil Mega watts de energía eléctrica a obtener de la operación de plantas eólicas

en México (cuando la producción actual de electricidad es de 51,000 Mega watts de energía eléctrica), son exageraciones sin fundamento [166]. Y las esperanzas de que se pudieran instalar plantas en plataformas en el mar, se estrellan contra dos hechos: México está fuera de la zona de altas velocidades de viento sobre el mar, y además, el costo de las instalaciones eólicas marinas es del doble de las terrestres.

Capítulo 18

Energía Solar Fotovoltaica

La funcionalidad de este tipo de energía se ve afectada fuertemente debido a que varía diariamente, con las estaciones, con las nubes, con el ángulo de incidencia de la luz solar y la duración de la insolación por día. Es pues, de naturaleza incontrolable e intermitente como la del viento. Además, si bien el sol la proporciona en cantidades muy abundantes, es de naturaleza difusa, esto es de baja densidad por unidad de área. Se añade a ello el consecuente impacto a los ecosistemas que obstruyen sus instalaciones, la necesidad de mucha área, agua para la limpieza de los paneles solares, carreteras de acceso para diversas labores de mantenimiento, necesidad de reposición de los paneles debido al daño ocasionado por la radiación solar, etc. En el mejor de los casos, el valor de *EROI* está comprendido entre 3.7 y 5 respecto a uno; esto sin considerar el costo real a nivel económico global.

Respecto a este tipo de fuente de energía eléctrica debemos tomar en cuenta entre otros factores los siguientes:

- En las garantías de los fabricantes se reporta una ra-

pidez de degradación de 1 % por año, lo cual significa que a los 30 años, el desempeño será solo del 70 % original. La degradación gradual consiste esencialmente en la pérdida de las propiedades de los semiconductores, así como disminución de la conductividad eléctrica de los conductores internos de las celdas y pérdida de transparencia de las partes ópticas, todo lo cual disminuye su eficiencia [167]. De acuerdo con los autores de la referencia, del año 2000 al 2010, las instalaciones solares fotovoltaicas, de manera global, han crecido de 0.26 GW a 16.1 GW, con un incremento anual del 40 %, debido tanto a innovaciones tecnológicas que han reducido los costos de manufactura en más de cien veces, como a los incentivos de diversos gobiernos tanto a productores como a consumidores. Sin embargo, debe tenerse cuidado por cuanto existe la tendencia gubernamental y del capital privado, de llegar a acuerdos para promover el desarrollo de nuevas fuentes de energía eléctrica, con lo cual eliminan costos al consumidor y hacen que recaigan en los contribuyentes mediante las subvenciones gubernamentales, esto enmascara los costos reales de dicha tecnología [168].

- Por muchos años, el Programa de Fotovoltaicos del Departamento de Energía de EUA, se ha planteado promover el desarrollo de módulos fotovoltaicos comerciales (base silicio) de bajo costo con vida útil de 30 años, como es común en instalaciones industriales del tipo de nucleoelectricas o termoeléctricas, meta que a la fecha no se ha alcanzado [169]. Una de las mayores limitantes en cuanto a duración de este tipo de celdas fotovoltaicas es el envejecimiento y consecuente falla de las soldaduras metálicas, así como el aumento de las resistencias eléctricas que ocurren debido tanto a los esfuerzos termo-mecánicos a que están sometidas por los cambios

de temperatura entre el día y la noche, como por el paso de corrientes eléctricas altas [169, 170].

- El Departamento de Energía de EUA [171], estima que lograr la instalación de un sistema fotovoltaico de energía eléctrica a un dólar/watt, o equivalentemente a entre 5 o 6 EUA cents/kWh, podrá hacer competitiva la alternativa solar sin subsidios gubernamentales con la producción promedio de energía eléctrica dentro de EUA. Se considera que una reducción significativa del nivel de 3-5 dólares/watt, que es el precio actual, no podrá lograrse antes de 8 años. El gobierno de EUA considera que si se reducen esos precios lo suficiente se puede combinar con sistemas de almacenamiento de energía, de manera que provea de energía eléctrica de origen solar las 24 horas. Sin embargo, a su juicio, el desarrollo de estos sistemas de almacenamiento de energía, y disminuir aún más los costos de producción de las celdas solares, requiere no sólo de una fuerte inversión, sino de realizar investigación y desarrollo e implicará además, una revolución tanto en el ámbito de la producción energética como de su utilización. Plantean que lograr dicho objetivo llevará mucho tiempo. En realidad, de acuerdo con los autores del libro que estás leyendo, la alternativa solar fotovoltaica será complementaria a otras fuentes de energía eléctrica mientras no se desarrollen bobinas superconductoras de alta potencia y alta temperatura para almacenar energía eléctrica de alta potencia; o no se desarrollen gigantes volantes mecánicos capaces de almacenar energía cinética de rotación durante el día para luego devolverla a su forma eléctrica durante la noche [172-174]; y estas dos alternativas están en pañales.

En cuanto a las celdas fotovoltaicas construidas con elementos

orgánicos tienen un desarrollo mucho más incipiente, y su estabilidad y eficiencia de funcionamiento a largo plazo no es comparable con las de base silicio [175].

18.1. Concentradores Térmicos de Luz Solar

Esta tecnología se basa en concentrar la luz solar por medio de espejos enfocables en una área determinada para producir altas temperaturas (entre 500 y 1,000 grados centígrados) y calentar fluidos que hagan girar turbinas para producir electricidad. Se puede utilizar la misma tecnología de las plantas generadoras de electricidad basadas en combustibles fósiles y, por tanto, además, requiere el uso de agua para la operación de las mismas. La instalación de enormes plantas en el desierto de Sahara podría proporcionar no sólo energía para el medio oriente, sino también para surtir de electricidad a Europa; la ventaja que se tendría es que la necesidad de terreno sería 1 en 20, de la que utilizaría una planta de celdas fotovoltaicas y sus problemas de mantenimiento y uso de materiales escasos sería mínima. El problema principal es, al igual que la tratada en el inciso anterior, su carácter intermitente. El desarrollo de almacenes de energía térmica es necesario para la optimización de este tipo de energía de manera que se pueda contar con energía eléctrica proveniente de esta fuente las 24 horas; de otra suerte, sólo será un complemento a las fuentes usuales y no una alternativa para sustituirlas. Actualmente el desarrollo y optimización de dichos sistemas de almacenamiento está en proceso de investigación [176-178]. Se considera que, cuando se obtengan resultados exitosos, sería posible no sólo tener un valor de *EROI* de alrededor de 10 a uno, sino que su costo estaría comprendido entre un 50 % y un 100 % más alto que el actual para gene-

ración eléctrica con combustibles fósiles, en lugar de 10 veces más alto, como es el caso de la producción con celdas fotovoltaicas. En 1997 aproximadamente el 80 % de la electricidad generada de aprovechamiento de la luz solar correspondía a plantas térmicas basadas en colectores de radiación, mientras el 20 % restante proviene de plantas fotovoltaicas [179]. En los 10 años anteriores al 2003, no se han construido plantas térmicas basadas en colectores de radiación en EUA, pues el costo de producción es más caro que el de las plantas de producción de electricidad basadas en el uso de combustibles fósiles [180]. La situación no ha cambiado desde entonces.

18.2. Uso Pasivo De Luz Solar

Aunque no es una fuente de energía en sí, el uso de la luz solar, o su control por medio de la tecnología adecuada en instalaciones industriales, habitacionales y oficinas o escuelas, puede ayudar en el ahorro de energía, tanto para evitar temperaturas muy bajas en los lugares con inviernos crudos; como para evitar el calentamiento en temporadas de calor. Debe tomarse en cuenta que los autores del reporte que estás leyendo buscaron la información correspondiente, y sabiendo que el diablo se esconde en los detalles, encontramos que, de acuerdo con resultados obtenidos por Mustafa Omer de la Universidad de Nottingham, Nottingham, UK [181], y otros, como el grupo de Rebecca Barthelmie y Peggy Maschino de la Universidad de Indiana, EUA [182], el 40 % de la energía total consumida mundialmente se debe a los edificios, construcciones y casas que albergan seres humanos y sus productos. La mitad del porcentaje anterior, o sea el 20 % de la energía total consumida mundialmente, se debe al consumo directo o indirecto de energía en las casas-habitación [183]. La mayor parte de esta energía se utiliza para iluminación, alimentación de equipos eléctricos y electrónicos, preparar alimentos,

lavar ropa y aseo personal, calentar, enfriar y acondicionar el entorno interior. Así que toda investigación, desarrollo y aplicación de tecnología, y acciones de grupos de ciudadanos en este rubro es fundamental para la supervivencia de la especie humana.

Capítulo 19

Desperdicios y Consumos de Energía Originados por la Especie Humana

Cuidar el consumo de la energía en casa significa gastar menos. Si usas menos energía no sólo ahorras dinero, sino que se necesita producir menos energéticos o energía eléctrica. Menos plantas eléctricas ayudan a que los combustibles fósiles en proceso de agotamiento duren más tiempo, ello da oportunidad a desarrollar energéticos alternativos en escala masiva para tratar de satisfacer las necesidades básicas de energía de la humanidad.

En México se logra poco ahorro a pesar de las políticas de normas que obligan a productores de equipo para el hogar a lograr mayor eficiencia (siguiendo normas de EUA), cuyas mayores repercusiones son relativas a un aumento del 62 % en la eficiencia energética de los refrigeradores entre 1990 y 2010 [184], aumento en la eficiencia del 82 % en el consumo energético de las pantallas de televisión por unidad de área al pasar de 0.22 W/pulgada cuadrada a 0.122 W/pulgada cuadrada [185], y un porcentaje de ahorro del 80 % del costo de

iluminación al pasar de focos de 100 Watts en los incandescentes a los fluorescentes compactos que necesitan 20 Watts [186], es decir, utilizan la quinta parte de energía para producir la misma iluminación. Se puede mostrar mediante el uso de datos oficiales del gobierno mexicano [184], que el consumo eléctrico per cápita no ha variado desde 1992 a la fecha (413.5 kwh/año). Esto se debe a que, entre otras cosas, recientemente se ha optado por televisiones de mayor área y mayor número de estos por casa, refrigeradores que hacen hielos, uso de laptops y PC, teléfonos celulares, estéreos, etc. El sector doméstico constituyó el 16 % del consumo final de energía en México en 2008, indicó el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (Pronase) de la Secretaría de Energía (Sener).

De acuerdo con un estudio de la UNAM, en los hogares mexicanos de las ciudades el consumo de energía es del 76 % eléctrica y el 24 % restante, de gas [187]. La siguiente información debe tenerse en cuenta: De acuerdo con un estudio del Instituto de Investigaciones Eléctricas en México, al desconectar de la pared los aparatos electrónicos (apagados) que no están utilizándose se puede disminuir en un 10 % el consumo total de energía eléctrica de los hogares [188]. Consumo de energía eléctrica también llamado fantasma, ocasionado por la operación eléctrica de circuitos de los aparatos cuando están supuestamente apagados. Utilice un apagador común por grupo de aparatos.

El 40 % del consumo de gas en un hogar típico se realiza para cocinar y calentar los alimentos en la estufa, el otro 60 % se utiliza para calentar agua para bañarse. Algunas formas de ahorro energético pueden ser las siguientes: Use olla de alta presión para el cocimiento de alimentos tardados en cocerse. Asegurarse de que el calentador de agua sea moderno, mantener el boiler en piloto y sólo mover la perilla a tibio un poco antes de usarse, con esta simple medida se puede aho-

rrar hasta un 30 % del consumo total de gas. Además, bajar el termostato y acostumbrarse al baño con agua tibia en lugar de caliente o muy caliente puede ahorrar hasta un 12 % adicional. Si al tocar el exterior del boiler cuando está encendido se siente caliente y no se tienen los recursos para cambiarlo se puede optar por cubrirlo con material aislante, así se puede ahorrar un 6 % en energía.

En síntesis, algunas medidas prácticas que pueden implementarse sin necesidad de realizar cambios en la estructura de las habitaciones son:

- Apague todo foco cuando no utilice la habitación.
- Desconecte todo cargador o aparato cuando no lo utilice.
- De preferencia a los televisores con pantalla mediana o chica (del tamaño de las antiguas que no eran planas), pues gastan menos energía respecto a las pantallas cuanto más grandes.
- Utilice focos ahorradores fluorescentes compactos, los de mayor precio duran mucho más; recuerde que a estos focos no se les puede colocar un reductor de voltaje como a los de resistencia eléctrica (los antiguos). Este tipo de foco no disminuye su vida útil, por estar prendiendo y apagando muchas veces durante la noche o el día.
- En invierno la forma más barata de calentar una habitación es dejar entrar la luz del sol sin abrir las ventanas, selle las rendijas; en muchas ocasiones esto no es posible o no es suficiente. En ese caso prefiera los calentadores de circulación de aceite a los de resistencia eléctrica expuesta a la vista. Los primeros producen mucho calor de baja temperatura que calienta el

aire (que tiene poca masa) con mucha eficiencia y no quemar la piel, producen un ambiente térmico agradable dentro de una habitación mientras esté bien aislada térmicamente. Los segundos producen mucho calor de alta temperatura que quema o calienta de cerca y no calienta de lejos pues esa radiación se absorbe en las paredes y no en el aire circundante. No caliente toda la casa, caliente sólo las zonas en que estará por mucho tiempo. Es importante que se instale un ventilador de techo para que haga circular el aire que ya calentó, con un calentador, y este baje y circule a diferentes niveles de la habitación. Recuerde que el aire caliente es más ligero que el aire frío. El consumo adicional de energía eléctrica para enfriar o calentar una casa en temporadas de frío o calor extremo puede ascender al 38 % del gasto corriente. Una casa o departamento bien aislado térmicamente puede consumir el 45 % de la energía de lo que se consumiría con una casa con mal aislamiento, si sólo aislamos térmicamente bien el techo, el consumo de energía será del 77 % [189].

19.1. Energía de la basura

En el mundo natural todo se recicla, no existe la basura, esto porque el ecosistema planetario usa todos los materiales. Cada uno de nosotros tiene dentro de sí en cada instante unos 40,000 átomos que formaron parte de Cleopatra, o Cristo, o Buda. La sociedad industrial de carácter mundial en la que vivimos (caracterizada por el derroche, la contaminación y el desperdicio), y de la que queriendo o no formamos parte, no ha desarrollado los procesos de interacción adecuados para imitar mínimamente la complejidad de la naturaleza. De acuerdo con el Dr. Armory B. Lovins, del Rocky Mountains Institute, quien en reconocimiento a su trabajo ha re-

cibido el Right Livelihood Award (también conocido como el Premio Nobel Alternativo) y 11 doctorados honorarios, afirma que hasta la fecha ha sido extremadamente redituable para las empresas producir frenéticamente sin preocuparse de cuánta basura-desperdicio producen durante su operación, porque hasta ahora eso no entra dentro de sus costos de producción; alguien se encargará de esa basura. Y las cifras que aporta son asombrosas: ¡en todo el mundo por año se producen 5 millones de millones de toneladas de desperdicios, para producir un 1% de bienes durables! El resto primero se convierte en basura; el sistema es 99% basura [190]. En ese mismo año (2004), la cantidad total de energía primaria empleada en todo el mundo ascendió a 10,449.6 millones de toneladas equivalentes de petróleo [191]. Lo anterior significa que cada año movemos de su lugar y procesamos 478.5 toneladas de materiales que convertimos en basura; y para realizar dichos procesos destructivos de la naturaleza utilizamos una tonelada de energéticos equivalentes a petróleo. La sociedad industrial actual, en su proceder irracional, anualmente produce 714 toneladas de desperdicios por habitante del planeta. Mientras que en promedio cada ser humano produce al año produce 0.365 toneladas de basura en su hogar [192]. Simultáneamente, por cada tonelada de petróleo equivalente producimos también 4.78 toneladas de productos “útiles” para la especie humana.

Un ejemplo de la irracionalidad del sistema económico actual es el relativo a la producción de oro. La producción anual se destina 50% a joyería, 40% a inversión como valor abstracto, y sólo 10% se dedica al sector industrial. Según el World Gold Council, la cantidad de oro producida a lo largo de toda la historia de la humanidad asciende a 171,300 toneladas [193]. De acuerdo con el gobierno de EUA, la producción mundial de oro durante el año 2011 fue de 2700 toneladas [194]. La producción anual está estancada desde hace aproximada-

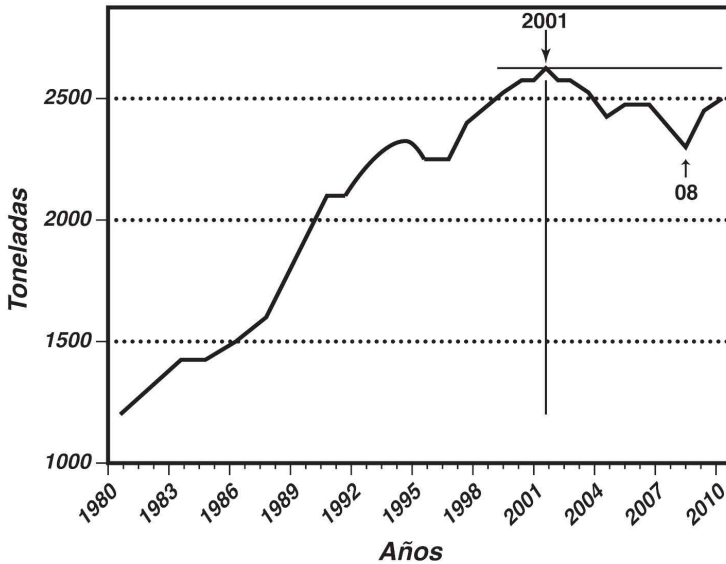


Figura 19.1: Producción mundial de Oro en toneladas como función del tiempo. Tomada de la referencia [195].

mente 20 años (véase la Figura 19.1 tomada de [195]); y desde ese tiempo la producción de los mayores productores está en declinación y los precios se han triplicado, lo cual explica la puesta en marcha de menas (con muy poca concentración de oro) que causan un gran daño irreversible a los ecosistemas cercanos y requieren gran costo de explotación [196]. En México una cuarta parte del territorio nacional está sujeto a destrozos causados por la minería, fundamentalmente de origen extranjero [197]; y algo preocupante es que las labores de minería en México están creciendo de manera exponencial con el tiempo [198]. Dado que el costo principal de la producción del oro reside en el uso energético para su obtención, si tomamos en cuenta que el costo promedio de la onza de oro era de 1,000 dólares americanos en 2011 [199], y el hecho de que el precio promedio mundial del petróleo durante ese mis-

mo año fue de 110 dólares por barril, es fácil calcular el gasto en petróleo que implicó la producción total de oro de ese año: 865 millones de barriles de petróleo, o lo que es lo mismo, 121 millones de toneladas de petróleo, para obtener 2,700 toneladas de oro, 44,814 toneladas de petróleo por tonelada de oro. Lo que en promedio implica que el 1.16 % del consumo de energía total en el mundo se dedica a la explotación del oro.

Más del 90 % de la producción actual de oro en el mundo se obtiene mediante el uso de cianuro (Sodium Cyanide, fórmula química: NaCN). La producción anual de Sodium Cyanide (en el 2004) fue de 360,000 toneladas, de las cuales se utilizan 120,000 para la obtención de oro [200], lo cual aporta un valor mundial medio del uso de 49.38 toneladas de cianuro para obtener una tonelada de oro¹; aun cuando a nivel molecular la reacción química en laboratorio requiera sólo 0.498 kilogramos de NaCN por cada kilogramo de oro [201]. Lo anterior implica que el 99.2 % del cianuro de sodio utilizado en la minería del oro se desperdicia y es fuente de contaminación ambiental tanto en forma directa, como a través de sus compuestos metálicos que no son fácilmente degradables. Las reservas mundiales de mineral explotable de oro en el año 2002, tienen una ley de 1.2 gramos de oro por tonelada de mineral [202], siendo este valor 200 veces mayor que el de la concentración promedio de oro en la corteza terrestre [203]. Lo anterior implica que la cantidad de minerales o rocas molidas que se trabajan para lograr las 2,700 toneladas de oro obtenidas anualmente asciende a 22,500 millones de toneladas de mineral. El cianuro en solución acuosa, en los depósitos de colas de la minería abierta de oro en presencia de luz solar, decae de un valor de 170 mg por litro a 10 mg por litro en un lapso de cinco años [204]. De acuerdo con la mayor productora de cianuro de sodio del planeta (Dupont)

¹1.1 toneladas de cianuro por tonelada de petróleo equivalente

[205], la dosis letal de cianuro en humanos es de 1.5 miligramos por kilogramo de peso (por ser humano, la dosis mortal en promedio de cianuro ingerido es de una décima de gramo o el tamaño de un grano de arroz). En México, la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental de la SEMARNAT indicó en el año 2007 que la Minera Peñasquito podría emitir “ácido cianhídrico si la solución cianurada (usada para el beneficio de las compañías mineras) no se mantiene a un pH adecuado”. Una concentración de 300 partes por millón de ácido cianhídrico en el aire basta para matar a un humano en minutos. La compañía Dupont establece que la mayor concentración permitida de esa sustancia en agua durante el proceso de obtención de oro es de 90.8 gramos por tonelada de agua (o lo que es lo mismo, 9.08×10^{-5} gramos/cm³), entonces la cantidad de agua contaminada durante el proceso directo de obtención de oro con cianuro asciende anualmente a un mínimo de 1,318 millones de toneladas de agua por año. Lo anterior significa un peligro potencial para la especie humana y los ecosistemas cercanos. El proceso llamado heap leaching consiste en [206] la molienda del mineral que contiene oro, su acumulación en montones y su posterior esprayado con una solución acuosa de cianuro la cual baja a través del montículo y se amarra químicamente con el 97% del oro contenido en el mineral molido. La solución oro-cianuro se colecta en la base de los montículos (que están sobre una piscina de plástico) y son bombeados a una estación de separación química. El cianuro se guarda posteriormente en estanques artificiales para su reutilización. Cada cierto número de meses, las piscinas para el depósito reciben nuevo material molido, dadas las escalas y los tiempos involucrados en dichos procesos, es inevitable la contaminación de los ecosistemas cercanos. Eventualmente, toda mina construye presas para disponer de las sobras de mineral contaminado de cianuro y otros tóxicos, llamados “colas del proceso”. Usualmente dichas presas no son estructuralmente confiables. En los últimos 25 años

han ocurrido accidentes en tres cuartas partes de todas las presas de las minas grandes de oro en el mundo [206]. Por ejemplo, en el año 2000, ocurrió una falla en una presa de colas de una mina de oro en Rumania, y se derramaron más de 378,000 litros de residuos con cianuro dentro del río Tisza, esto ocasionó la muerte de 1,240 toneladas de peces (no en balde los peces mueren con una concentración de cianuro de una milésima parte de la cifra máxima utilizada en las minas de oro), y contaminó por varios meses el agua para tomar de 2.5 millones de personas [206] (véase también reportes como el que se indica en referencia [207]). Y por si fuera poco lo anterior, tenemos que en todos los depósitos antes mencionados existen fisuras y rupturas en el fondo plástico de sus presas o estanques, lo cual contamina a largo plazo los ecosistemas y fuentes de agua subterráneas que pueden ser utilizadas para consumo humano [208]. Además, contaminaciones extensivas por filtración de cianuro y metales pesados a los acuíferos subterráneos fueron confirmadas en el año 2006 en diversos ríos de Honduras en el área de operación de la mina de San Martín [209].

La situación, juzgada internacionalmente, es de tal gravedad que en octubre 27 del año 2000, un grupo de científicos que incluía a los profesores Dr. Paul Müller, Dr. Friedhelm Korte y Dr. Petra Sauerland, produjeron la que es conocida como la “Declaración de Berlín” [210], esto como resultado de una reunión promovida por FIAN (International Peoples Right Organization) acerca de las consecuencias del desarrollo de minería (a cielo abierto) de oro basada en el uso de cianuro de sodio. En la reunión, que se condujo bajo la dirección del Dr. Paul Miller (University Saarbröcken), que contó con la presencia de Gila Altman (State Secretary Ministry of Environment, Alemania). La reunión aprobó por unanimidad la declaración de la cual presentamos el siguiente resumen:

1. Análisis científicos críticos realizados especialmente en

áreas como eco-química, biogeografía, hidrología y geoquímica de ecosistemas, han probado de manera enfática que los procesos de minería basados en la utilización del proceso de cianuro de sodio no pueden ser aceptados debido a que causan daños irreversibles en los ecosistemas. Además, las tecnologías de remediación de daños sólo son utilizables en márgenes muy limitados y no garantizan una minería segura del oro. La minería de oro utilizando cianuro de sodio en campo abierto está prohibida por la ley tanto en EUA como en Alemania.

2. El análisis de los ecosistemas en los sitios de operación en zonas tropicales y sub-tropicales ha probado la ocurrencia de crisis periódicas, debidas a rompimiento de presas de contención de colas, filtraciones, accidentes de contaminación ocurridos durante el transporte.
3. El análisis económico indica que las actividades de los mayores productores de oro del mundo como Anglo Gold, Gold Fields, Rio Tinto, Barrick, Placer Dome, BHP, están concentradas en países pobres y regiones con bajos costos de producción e insuficientes estándares legales y controles.
4. El análisis de los efectos sociales sobre la gente y la situación humanitaria prueban que no se presentan efectos positivos del uso de la minería del oro basada en el uso de cianuro de sodio. La ganancia en el corto plazo como la generación de más empleos siempre caen a los valores existentes previos al comienzo de operación.
5. Este balance negativo prueba que la minería de oro, basada en el uso de cianuro de sodio, contradice permanentemente la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 de la Conferencia de las Naciones Unidas acerca del medio ambiente y el desarrollo [211], pues destruye

en el largo plazo la vida y sus necesidades de nutrición adecuadas.

Hasta aquí el resumen de la Declaración de Berlín.

En México las cosas no andan nada bien con la explotación del oro y la minería en general. ¡Y lo más grave de la explotación minera en México, principalmente extranjera, es que afecta muy negativamente a la cuarta parte de los ecosistemas de México, con sólo una contribución al PIB del 1.3%! [212]. Muy interesante y doloroso es que el daño irreversible a los ecosistemas se queda en México, las ganancias se van al extranjero y se viola flagrantemente, entre otros, el artículo 27 constitucional, regalando los gobernantes (socios de las empresas extranjeras) a extranjeros lo que no es de ellos sino de la Nación; amén de la violación a diversos principios establecidos en la Declaración de Río [211], que son resultado de reconocer que se debe trabajar para lograr acuerdos internacionales, con respecto al interés de todos de proteger la integridad de los ecosistemas globales durante los procesos de desarrollo económico, y reconocer la interdependencia e integralidad de la naturaleza de la Tierra.

Mínimamente, los principios violados por la minería extranjera del oro en México son los siguientes:

Principio 1. Los seres humanos son el centro de las preocupaciones del desarrollo sustentable, este debe estar dedicado a lograr una vida productiva y sana en armonía con la naturaleza.

Principio 2. De acuerdo con la Carta de las Naciones Unidas y diversos principios de la Ley Internacional, los estados tienen el derecho soberano de explotar sus propios recursos bajo sus propias políticas de desarrollo y preservación de los ecosistemas, y tienen la responsabilidad de asegurar que dentro de su jurisdicción o control,

no causen daño a los ecosistemas de otros estados o de áreas fuera de los límites de su jurisdicción nacional.

Principio 3. El desarrollo económico debe cumplir de manera equitativa con las necesidades de protección y desarrollo de los ecosistemas de la generación actual y las futuras.

Principio 5. Todos los estados y toda la gente deben cooperar en la labor esencial de erradicar la pobreza como un requisito indispensable para lograr un desarrollo sustentable, para disminuir las disparidades en los estándares de vida y poder satisfacer mejor las necesidades básicas de la mayoría de la gente del mundo.

Principio 6. Se debe dar especial prioridad a la situación y las necesidades de los países en desarrollo, en especial a los que tienen ecosistemas vulnerables. Las acciones internacionales en los campos de desarrollo y cuidados ambientales deben ir dirigidas a cuidar los intereses y las necesidades de todos los países.

Principio 7. Los estados deben cooperar dentro de un espíritu de fraternidad global para conservar, proteger y restaurar la salud y la integridad del ecosistema del Planeta Tierra. En vista de las diferentes contribuciones a la degradación del medio ambiente planetario, los estados tienen responsabilidades comunes pero diferenciadas. Los estados desarrollados reconocen la responsabilidad que ellos tienen en la búsqueda internacional del logro del desarrollo sustentable debido a las presiones sociales que sus sociedades, los recursos tecnológicos y financieros que ellos comandan ejercen sobre recursos del planeta.

Principio 14. Los estados deberán cooperar de manera efectiva para desanimar o prevenir la relocalización y trans-

ferencia a otros estados de cualquier actividad y sustancias que causen degradación severa de los ecosistemas o medio ambientes o que sean dañinas para la salud humana.

Principio 15. Para proteger el medio ambiente, los estados deberán aplicar ampliamente el principio precautorio de acuerdo con sus capacidades. Donde existan amenazas de daño serio e irreversible, la falta de completa certeza científica no deberá utilizarse como razón para posponer medidas efectivas prácticas para prevenir la degradación de los ecosistemas.

Principio 22. Los indígenas y las comunidades locales juegan un papel vital tanto en el cuidado de los ecosistemas como en su manejo por su conocimiento y prácticas tradicionales. Los estados deben reconocer y apoyar de manera decidida su identidad, cultura e intereses y permitirles su participación efectiva en la búsqueda de un desarrollo sustentable.

Principio 23. Los recursos naturales y el medio ambiente de las personas que vivan bajo opresión y dominación deberán ser protegidos.

En México, el complejo Peñasquito es la mayor mina de oro de América, y está en uno de los municipios más pobres de México: Zacatecas. De ese complejo, la empresa canadiense Gold Corp. extraerá aproximadamente 13 millones de onzas de oro en 19 años. Es la segunda mina de oro más importante del mundo después de Sudáfrica, en ella laboran más de 3 mil 400 obreros. A la fecha Gold Corp. ha invertido 2,500 millones de dólares en Peñasquito, ubicado 295 kilómetros al norte de la ciudad de Zacatecas, en los límites con Coahuila. El director de Minas estatal, Manuel Huitrado, añadió que la mina podría ser explotada 19 años más y que en ella se

procesan diariamente 50 mil toneladas de material rocoso con altas concentraciones de oro, plata, zinc y cobre, entre otros minerales.

Cuando el yacimiento se agote, el primer tajo, denominado Peñasco, dejará un enorme agujero de 600 metros de profundidad y 1.5 kilómetros de diámetro. Para explotar las vetas, el poblado El Peñasquito fue reubicado. El complejo minero dispone de aeropuerto para las avionetas que trasladan diariamente a ejecutivos de la compañía y metales extraídos [213].

Los ejidatarios recibieron \$93,000 por rentar sus predios 19 años. En agosto del 2010, el precio de una onza de oro se ha cotizado en alrededor de 1,197 dólares estadounidenses. Si estos precios se mantienen, el oro producido por Gold corp. anualmente se valorará en 598.5 millones de dólares [214]. Por su parte, Mazapil es un municipio marginado, alejado de las ciudades. Los inversionistas necesitaban una vía directa que entroncara con la carretera federal 54 (Zacatecas-Saltillo) para llevar maquinaria e insumos a la mina de Peñasquito, así que decidieron perforar 15 kilómetros de roca sólida de la sierra que divide a las comunidades Pabellón y Santa Olaya, y construyeron una carretera.

La mina se encuentra en una zona donde la precipitación pluvial es de menos de 400 milímetros de lluvia anuales. Los ejidos locales han logrado subsistir gracias a la existencia de inmensos mantos acuíferos que permiten el riego para la producción agrícola. Sin embargo, desde el año 2007, la situación de la extracción de aguas subterráneas ha sido considerada “altamente crítica” a nivel estatal debido a un “déficit anual de 220 millones de metros cúbicos”. El agua ha ido escaseando y apenas alcanza para las labores de agricultura [214]. El análisis de los datos anteriores indica que la producción anual de oro por dicha mina es de 19.54 toneladas, lo cual equivale al 20.17% de la producción total en México. El consumo



Figura 19.2: Fotografía del acueducto de la Mina el Peñasquito en Zacatecas.

anual de cianuro es de 966.4 toneladas, de las cuales el proceso arroja como desecho a los estanques 957.7 toneladas de cianuro de sodio. La destrucción del suelo original es de 18.5 millones de toneladas de tierra y roca que no son reincorporadas al ecosistema original debido a su contaminación con cianuro de sodio y sus compuestos metálicos asociados a la explotación del mineral de oro. El gasto energético anual de dicha mina asciende a 877,000 toneladas de petróleo equivalente, o lo que es lo mismo, al 0.6 % de la producción anual de petróleo nacional en el 2011. La cantidad de agua utilizada y contaminada por año en la mina es mínimamente de 542,000 toneladas o metros cúbicos de la misma. El tamaño del cráter al final de la explotación será de 1.5 kilómetros de diámetro y 600 metros de profundidad y podrá verse desde el espacio como el cráter de la siguiente foto la cual corresponde al Berkeley Pit en Montana, EUA [215]; el volumen del cráter de Peñasquito será 3.9 veces mayor que el del cráter Berkeley Pit. Obviamente las empresas mineras no rellenan



Figura 19.3: Fotografía tomada el 2 de agosto del 2006 por astronautas de la Estación Espacial del socavón de la mina Berkely Pit en Montana EUA. El diámetro es de 800m con una profundidad de 540m. Tomada de la la referencia [215].

los huesos, ni se hacen responsables por los desechos, ni de las alteraciones irreversibles de los ecosistemas.

19.2. Energía de la basura. Dinamarca y México

Una prioridad en el uso de materiales y recursos en un planeta de tamaño finito, y por tanto de recursos limitados en energéticos y recursos renovables y no renovables, es el utilizar el mínimo de ellos para vivir y recuperar el máximo de los mismos de la basura para su reutilización y reciclamiento.

19.2.1. Caso de Dinamarca

Hacia fines del 2005 se procesaban 3.5 millones de toneladas de desechos, lo cual corresponde al 26 % de todos los desechos generados en Dinamarca. La producción total de desechos fue de 12.7 millones de toneladas, de ellas 8.4 millones de toneladas fueron reutilizadas o recicladas, mientras 1 millón de toneladas fue a rellenar suelos. De acuerdo con la Agencia de Energía de Dinamarca la energía eléctrica obtenida de los desechos fue de 1.47 millones de MWh (106Wh) y se obtuvieron 6.36 millones de MWh para calefacción térmica de casas [216]. La producción anual de energía eléctrica en dicho país para ese año fue de 36.392 TWh (10 12Wh) [217]; por lo cual, la contribución de la energía eléctrica de la basura asciende a un 4.0 % del consumo eléctrico total y desde el punto de vista económico local es viable, y por supuesto, desde el punto de vista del cuidado de los recursos del sistema planetario, es la dirección a seguir.

En Dinamarca [216], por cada tonelada de desperdicios el poder calórico promedio es de 10.5 MJ/kg, así que 4 toneladas de desechos sustituyen a una tonelada de petróleo (cada kilogramo de desecho contiene un cuarto de kilo de energía equivalente de petróleo). Es de esperarse que conforme escasee el petróleo en el mundo (y por tanto se encarezca) el contenido energético por kilogramo de basura descienda monótonamente. Aproximadamente el 20 % de los desperdicios consiste en materiales no combustibles tales como vidrio, acero y otros metales, estos últimos salen con el fondo de las cenizas y son reciclados.

Durante el año 2002, se incineraron 2.9 millones de toneladas de basura, lo cual correspondió a 547 kilogramos per cápita, o lo que es lo mismo, la producción diaria de basura ascendió a 1.5 kilogramos por persona al día.

Dado que Dinamarca utiliza al año energía primaria por

18.4 millones de toneladas de petróleo equivalente [218], esto aporta un valor de 9.51 kilogramos de petróleo equivalente al día por persona; de este total, lo que se arroja a la basura y luego se recupera, como hemos visto, son 0.375 kilogramos de petróleo equivalente al día por persona. Lo cual significa el 3.94 % del total de su gasto energético diario. El 98 % de toda la basura casera es procesada para recuperar la energía almacenada. En cambio, en EUA sólo se procesa el 14 % de toda la basura para ese fin. En cuanto a los materiales arro-

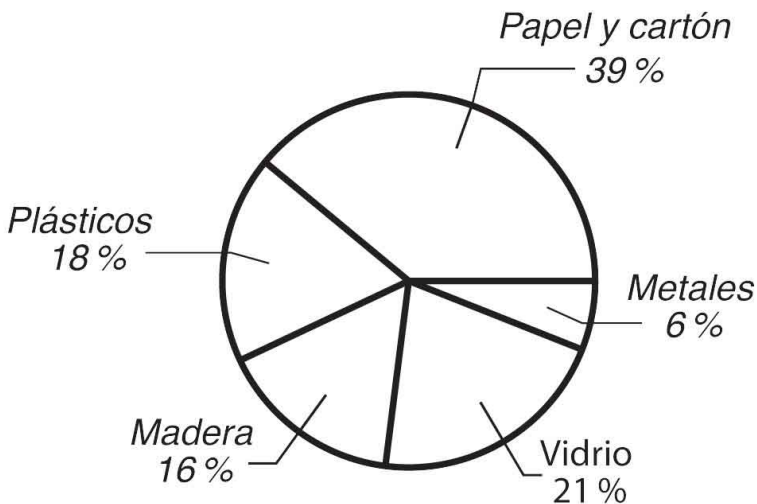


Figura 19.4: Porcentaje de materiales reciclados en Dinamarca. Datos tomados de [219].

jados a la basura, la conformación promedio de la misma está dada por la siguiente figura:

Los datos provienen de la referencia [219]. Por año, se recuperan 50,000 toneladas de metales y acero los cuales son reciclados en Dinamarca. En la referencia [220] se presenta una visión general de los últimos cien años de la obtención de energía de la basura en Dinamarca, país que es de los más avanzados en el mundo en este rubro.

Otro país líder a nivel mundial en el manejo de la basura es Suecia [221], para el cual sólo el 4 % de su basura tiene como destino final el relleno sanitario; mientras que los países europeos tienen un promedio de 38 % de basura que sí va al relleno [222]. En EUA se producen 12.3 TWh de electricidad por año, a partir de 87 plantas generadoras de electricidad mediante incineración de basura. Japón incinera entre el 50 y el 80 % de su basura. Actualmente en el mundo existen 600 plantas generadoras de electricidad mediante incineración de basura.

19.2.2. Caso de México

La situación en México es la siguiente [223]: México tiene un total de 2,400 municipios con una población total de 103.2 millones de personas (en el año 2008). Del total de basura producida por día, el 87 % se recolecta y el 13 % se tira ilegalmente. Del 87 % recolectado por los municipios 64 % va a rellenos sanitarios controlados y el 33 % es enviado a rellenos al aire libre sin control alguno. La ciudad más grande del país sólo recicla el 6 % de lo recolectado. México es el mayor generador de basura de América Latina con una producción diaria en 2008 de 89,000 toneladas (32.48 millones de toneladas por año), lo cual da 0.88 kilogramos de basura al día por persona, muy cercano al valor medio europeo.

La composición porcentual de la basura (de acuerdo con el tipo de material) en la ciudad de México es la que aparece en la Figura 19.5.

Si en Figura (19.5) eliminamos los elementos orgánicos no combustibles, las proporciones porcentuales de la basura de México, D.F. es: metales 5.26 %, muy cercano al promedio europeo de 6.0 % (lo cual permite en principio recuperar por esta vía 1.71 millones de toneladas de metal anualmente), papel más cartón 28 %, cuando el valor medio de la basu-

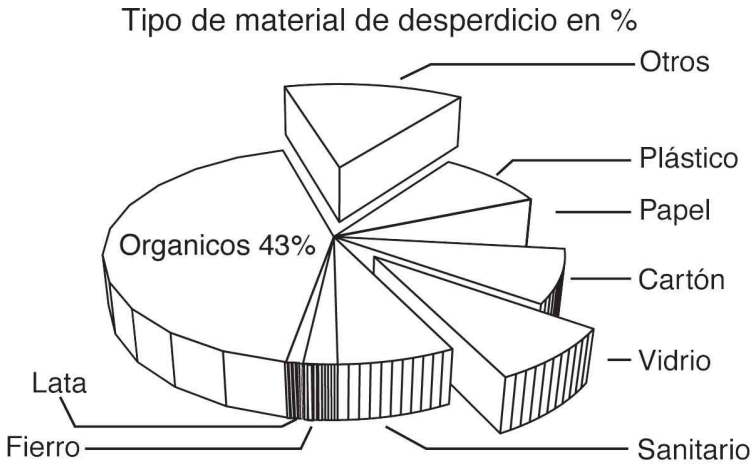


Figura 19.5: Porcentaje de la composición de la basura en la ciudad de México. Estos porcentajes son representativos de las grandes ciudades de Latinoamérica de acuerdo con [223].

ra europea es de 39 %, vidrio 14 %, cuando en Europa es de 21 %, y plásticos del 15.7 %, cuando el valor medio europeo es de 18 %. En cuanto a la madera (el valor porcentual en Europa es de 16 %), podemos pensar que está contenida en lo que en México se considera como orgánicos. Dadas las similitudes tanto en la composición de la basura como en la cantidad de basura por habitante por día, es posible considerar que los promedios para Europa (en particular Dinamarca), son aplicables en México en lo que respecta a la potencialidad energética del kilogramo de basura seca en México. Lo anterior significa que, a lo más, en México, de la energía almacenada en la basura podremos obtener el 3.94 % del total del gasto energético diario por habitante; sin embargo, el beneficio potencial de salvaguardar los ecosistemas afectados a futuro por rellenos sanitarios innecesarios será inmenso para la preservación de la diversidad de la vida en el país y en el planeta.

Cuadro 19.1: Origen de los Desperdicios Municipales

Concepto	t/d	%
Hogares	5672	47
Comercio	1869	16
Servicios	1829	15
Mercados	1249	10
Diversos	557	5
Mercados	450	4
Controlados	374	3
Total	12000	100



Figura 19.6: El precio del petróleo.

Capítulo 20

Bioetanol y Biodiesel

20.1. Bioetanol

Este tema ya lo hemos tratado previamente, en lo referente a su producción a partir del maíz, sin embargo, cabe mencionar algunas ideas adicionales manejadas por Heinberg y Mander en su excelente trabajo, que establece límites tecnológicos máximos al uso del bioetanol dentro de EUA en el corto plazo. El uso de bioetanol para motores de combustión interna a gasolina sólo permite su utilización hasta un 15% pues, para concentraciones mayores, la corrosión que produce es tal que se requieren modificaciones de fondo en la ingeniería de los motores. Cada litro de etanol, para su producción, requiere del consumo de 27,000 litros de agua; amén de que se elabora a partir de granos esenciales para la alimentación de miles de millones de personas por lo cual amenaza la supervivencia de la humanidad pues la cantidad de maíz que se requiere para cubrir el combustible de un auto para que recorra el kilometraje anual promedio, implica que en promedio 51 personas morirían de hambre, si esto se lleva a cabo en escala masiva de manera sostenida, las muertes por hambre podrían ascender a miles de millones de perso-

nas, como se calculó en el año 1999 por Montemayor-Varela y Montemayor-Aldrete [10]. La producción de bioetanol amenaza, asimismo, la seguridad alimentaria de la humanidad y ha sido denunciado por distintas autoridades internacionales como la ONU [224] que en octubre del 2012, pidió a los gobiernos de Europa y EUA abandonar la producción de los biocombustibles basados en granos como el maíz, porque su producción compite con la que se destina a la alimentación humana. Y ya antes agosto de ese mismo año, la FAO pidió a EUA suspender la producción de etanol basada en el uso de maíz [225]. Empresas internacionales como la compañía suiza Nestlé [226], gigante de la comida, a través de Peter Brabeck-Letmathe, presidente de la misma, llamó a los políticos a hacer presión para terminar con el uso de alimentos para la producción de biocombustibles por razones humanitarias. Y según Robert Bryce [227], ese mismo funcionario de la Nestlé en 2011 afirmó que el uso de cultivos alimentarios para producir biocombustibles era una “locura absoluta”. Según Robert Bryce (del Center for Energy Policy and the Environment at the Manhattan Institute, un think tank que ha recibido más de 6 millones de dólares de la industria de los combustibles fósiles) anualmente, los automovilistas estadounidenses están quemando en sus coches casi tanto maíz como el que alimenta a todos los pollos del país, pavos, ganado vacuno, porcino y pescado combinados. Además, diversos académicos de renombre y prestigio como David Pimentel han realizado estudios exhaustivos acerca de las implicaciones genocidas del uso del maíz para la producción de bioetanol [84-88]. Por si fuera poco, el *EROI* del bioetanol es menor de 1 a uno. Obtener bioetanol del maíz requiere 29% adicional de energía fósil que la energía del combustible obtenido. Para el caso del etanol obtenido de madera se requiere 57% adicional de energía fósil que la energía del combustible obtenido, con lo cual, EUA está consumiendo más petróleo que si no produjera bioetanol [228]. Lo anterior refuerza la apreciación política de

muchos seres humanos en el mundo, acerca de que la política estadounidense es una política militar generalizada de nuevo tipo en contra de las mayorías del mundo, al disminuir los granos que alimentan a los seres humanos.

20.2. Biodiésel

Se produce biodiésel a partir de aceites vegetales obtenidos del procesamiento industrial de semillas de soya, canola, palma y girasol. El principal aspecto negativo de ello es la necesidad de grandes extensiones de terreno y agua, que se distraen del uso agrícola para producir cereales o de los escasos ecosistemas vegetales naturales que restan en el planeta, agrediendo y poniendo en peligro tanto la diversidad de la vida como la existencia de la vida en todo el planeta [84-88].

Susan S. Lang, del servicio de noticias de la Universidad de Cornell de Nueva York, EUA, informó [228] que de acuerdo con estudios publicados en el año 2005, en la revista *Natural Resources Research* [229], por David Pimentel, profesor de ecología y agricultura de Cornell, y Tad W. Patzek, profesor de ingeniería civil y ambiental de Berkeley profesor de ecology and agriculture de Cornell y Tad W. Patzek, professor of civil and environmental engineering de Berkeley, la producción de biodiésel no aporta beneficio energético alguno. Por cuanto si se obtiene de la soya se requiere 27 % más energía fósil que la energía útil producida, y obtenerlo de semillas de girasol requiere 118 % más energía fósil que la obtenida como producto final. Esto tomando en cuenta toda la energía utilizada en todo el proceso de producción de manera directa o indirecta, por ejemplo, en energía utilizada para la construcción y funcionamiento de maquinaria, fertilizantes, bombeo de agua, transporte, etc.

En una entrevista [230] realizada por Tom Philpott el

2006, al profesor Pimentel, le preguntó: “¿Cuando usted dice que los promotores de bioetanol fallan en tomar en cuenta la energía que utiliza la maquinaria de labranza, se refiere a la energía que requiere la fabricación de los tractores, por ejemplo?”, a lo que respondió: “es correcto, y también a la requerida para la fabricación de su auto”. “De acuerdo con su experiencia, ¿cómo justifican dichos investigadores dicha omisión?”, Pimentel afirmó tajante: “Ellos no la justifican, simplemente la omiten.” El profesor Pimentel, a pregunta expresa de si teóricamente la energía de la biomasa era viable, entre otras cosas, manifestó: “la dificultad es que las plantas no colectan mucha energía solar. En promedio, las plantas colectan y almacenan un décimo del uno por ciento de la energía solar disponible para la planta. Las celdas fotovoltaicas colectan al menos 10 %, lo que significa 100 veces más energía que la colectada por las plantas por unidad de área.”

En cuanto a la producción de aceite de palma para propósitos energéticos y sus efectos negativos sobre los ecosistemas planetarios, tenemos diferentes trabajos de análisis consistentes entre sí, de los cuales son representativos el de World Wildlife Fund (WWF) [231- 234], y como una visión de las implicaciones político-sociales además del efecto sobre los ecosistemas, tenemos dos trabajos de Alfonso Raffin del Riego Veterinario por la Universidad Complutense de Madrid y Director Mundial de Desarrollo Ganadero de Danone, quien es una autoridad en la materia y recientemente publicó un trabajo denominado “Causas y efectos de los llamados biocombustibles. Alarma en el sector ganadero” [235, 236]. De acuerdo con la WWF [231-234], los bosques y selvas del mundo cubren el 30 % de la superficie de la Tierra y contienen dos tercios de la diversidad biológica de las especies conocidas, muchas de las cuales están amenazadas en su existencia. Cada 30 segundos, desaparecen 13 hectáreas de selva y bosques en el mundo, debido a la búsqueda de una ganancia a costa de los ecosis-

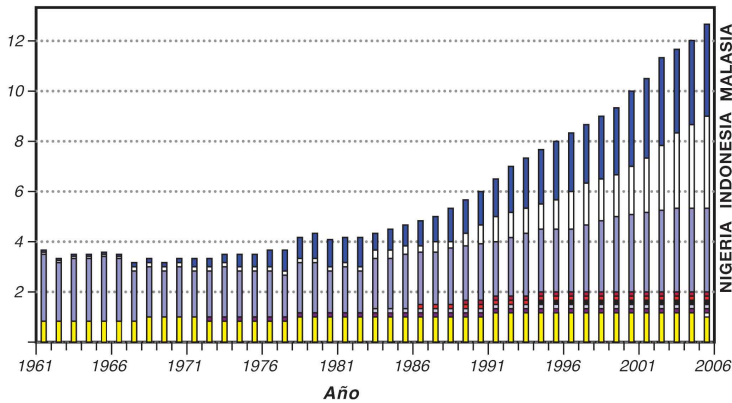


Figura 20.1: Variación del área dedicada al cultivo del Aceite de Palma en el mundo desde 1961 hasta 2006, según estadísticas de la FAO.

temas naturales. Dentro de un minuto, la humanidad logrará destruir con éxito 1,000 años de evolución natural. Recientemente los bosques y selvas del mundo no sólo se explotan irracionalmente para obtener madera, sino también aceite de palma. El aceite de palma es un recurso muy versátil que se ha utilizado tanto como comestible así como en la producción de detergentes, champús y cosméticos. Bajo presión del mercado, originada por la decisión de EUA de utilizar a futuro biodiésel, se ha incrementado la producción de aceite de palma y se le pregona como una fuente renovable de energía amigable con el medio ambiente. ¿Cuál es la productividad energética del aceite de palma (*Elaeis guineensis* Jacq.) por hectárea? 4 toneladas de aceite.

Pero ¿qué pasa cuando se toma en cuenta toda la cadena productiva de su transformación en biodiésel y el efecto que ella tiene sobre la biodiversidad biológica del planeta? Pues se están destruyendo muchas especies animales y vegetales, los cuales conforman ecosistemas esenciales para la vida en el planeta. Más del 80% de la producción de aceite de palma

proviene de Indonesia y Malasia que producen, respectivamente, 12.1 millones de toneladas de aceite y 13.976 millones de toneladas de aceite; siendo las áreas de cultivo 3.300 millones de hectáreas y 3.466 millones de hectáreas, donde por lo menos un 50% oficial para Indonesia y 70% para Malasia provienen de tierras quitadas a los ecosistemas naturales. ¿Cómo van perdiendo superficie las selvas tropicales del mundo debido al cultivo de palma? En la Figura (20.1), se puede ver que el ritmo de crecimiento en el mundo es acelerado con el tiempo y más precisamente crece de manera exponencial desde 1971. Esto implica una destrucción acelerada de los ecosistemas de las selvas tropicales, las cuales existen entre más o menos 10 grados, de latitud, respecto al Ecuador del planeta. Un problema a futuro sobre este asunto y otros re-

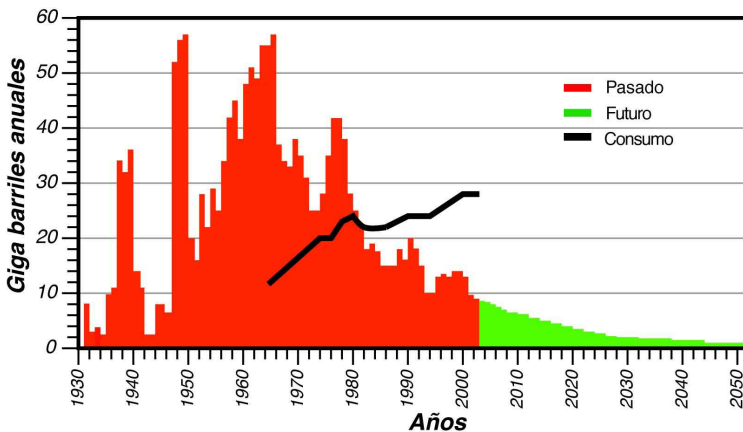


Figura 20.2: Número de barriles de petróleo que se descubren como función del tiempo. La línea sólida muestra la tasa de consumo. Datos tomados de [235].

lacionados a daños a ecosistemas por operación de minas y plantaciones, es la actuación de los lobistas de las compañías de hule que lograron que sus plantaciones fueran clasificadas como bosques o selvas por la ONU y la FAO. El mismo

procedimiento puede ser utilizado por compañías como la Sime Darby Oil Plantation de Malasia y otras, para que sus plantaciones también sean clasificadas como bosques permanentes; y esto puede ocurrir tanto en Malasia como en otros ecosistemas selváticos del mundo. Ello con las consecuencias negativas esperadas contra la biodiversidad, debido a la acción de las compañías de monocultivos.

En cuanto a los porcentajes de aceites vegetales en la producción mundial, tenemos que para el año 2005 la distribución fue como sigue: aceite de palma 31 %, aceite de soya 30 %, aceite de colza 14 % y aceite de girasol 8 %. Sobre los factores sociopolíticos relacionados con la producción de aceite de palma, Raffin del Riego comenta: “Diferentes economistas y sociólogos (Teoría del pico de Hubbert) advierten que se han de buscar alternativas antes de que la producción del petróleo se reduzca (véase la Figura 20.3), de lo contrario, la lucha por su posesión producirá guerras y esclavitudes antes no conocidas. Algunos dicen que ya han comenzado (guerras de Irak y Angola, tensiones en Irán, Nigeria, Venezuela). El precio del crudo ya refleja la falta de descubrimientos, el costo superior de su explotación (petróleo más profundo y pesado), el imparable consumo y la falta de alternativas a la vista”.

La expansión de la palma aceitera está siendo vertiginosa en países como Indonesia, Malasia y Tailandia. Podemos exponer el caso de Malasia, en donde viven 40 millones de indígenas en la selva tropical, que han visto que la palma ya se ha comido 20 millones de hectáreas y está transformando otros 5 millones en estos momentos.

En Colombia, algunas organizaciones de derechos humanos (Human Rights Everywhere, Belgische Coordinatie voor Colombia, Comisión Intereclesial de Justicia y Paz) emiten informes escalofriantes: “tres millones de desplazados por los paramilitares, han abandonado 5 millones de hectáreas, dejando que los ex narcotraficantes las ocupen y utilicen para

producir aceite de exportación. Lo hacen con recursos del gobierno colombiano (financiado por las empresas aceiteras) que recauda de sus ciudadanos y de la ayuda al desarrollo. Cientos de resistentes y denunciadores han sido asesinados” [235].

Cuando hablamos de plantaciones de árboles transgénicos para energía (BC de segunda generación), los especialistas en árboles (Global Forest Coalition, World Rainforest Movement, Friends of the Siberian Forest) lanzan un grito de terror: “su polen viaja cientos de kilómetros y contamina los bosques naturales, los que generan lluvias y biodiversidad, remplazándolos por otros que agotan las aguas subterráneas y empobrecen el suelo en la microflora y fauna que retiene el carbono”, FIAN internacional documenta la complicidad entre las corporaciones agroindustriales, los terratenientes y las fuerzas de seguridad en Brasil, Argentina, Paraguay e Indonesia [235]. Además, el riesgo real con el uso de los transgénicos es que la soya o el maíz usado para energéticos no alimentarán correctamente a personas y ganado, incluso se estudia que sean tóxicos para ellos y de esta manera las cosechas no se puedan derivar a otros usos. El agricultor deberá comprar y vender al consorcio. El riesgo ecológico es la pérdida de variedades (propiedad hoy de los campesinos) que puedan ser imprescindibles en el futuro para resistir las amenazas de cambio climático [235].



Figura 20.3: Transformación de la selva en Indonesia en una plantación de palmas de aceite.

Capítulo 21

Arenas Bituminosas (Tar Sands)

Los geólogos consideran que hace 50 millones de años cantidades grandes de aceites, producto de la descomposición de pequeñas algas y animalitos multicelulares, migraron bajo tierra hacia regiones arenosas que estaban relativamente cercanas a la superficie. Las bacterias proliferaron en esas condiciones, degradando primero los aceites constituidos por moléculas más simples y transformándoles en dióxido de carbono y agua; luego dejaron sin metabolizar las moléculas más grandes o aceites super pesados de gran viscosidad y otras sustancias como metales que no pudieron digerir. Esto hace más difícil su extracción, y su procesamiento es más caro que para el caso de los crudos ligeros o pesados. En el caso de las arenas de Alberta, donde está la mayoría de los yacimientos del mundo, cada grano de arena está rodeado de agua y un film externo de bitumen. La capa de agua impide que el material del grano de arena absorba bitumen y hace que mayor proporción del recurso pueda ser extraído, por cuanto las fuerzas capilares son menores que en el caso del oil shale, donde los hidrocarburos están en contacto directo con los

granos de arena, lo que hace más difícil y caro el proceso de extracción del recurso, y la cantidad de recurso extraíble por unidad de volumen es, por supuesto, menor al caso de las arenas bituminosas.

Recientemente, el gobierno de EUA ha declarado a todos los vientos, su intención de aprovechar la producción de las arenas bituminosas de Alberta, Canadá, para disminuir su dependencia del petróleo del Medio Oriente y, según él, trabajar contra el cambio climático. Ello en relación con la construcción de un ducto llamado Keystone XL de 3,461 kilómetros de longitud, y un costo de 7,000 millones de dólares, para conducir una mezcla diluida de bitumen hasta las refinerías de Texas. Este proyecto ha despertado la fuerte oposición de ambientalistas que consideran que, de continuarse, se atará a EUA en una ruta del uso de energéticos que contribuirán fuertemente al calentamiento global [237]. La ruta original del ducto TransCanada tuvo que ser modificada por orden de Obama debido a la fuerte oposición del gobernador de Nebraska y de muchos ciudadanos que consideraban que alguna filtración o rotura podría contaminar cuerpos de agua y ecosistemas [238]. Los pueblos originarios del área de Alberta también se oponen al ducto y a la minería de las arenas bituminosas, pues son una amenaza a la continuidad de la vida de los ecosistemas donde viven y cazan. El ex jefe Al Lame-man, de la Primera Nación de la tribu Cree del lago de los Castores de la provincia de Alberta, dice: “Estoy viendo qué es lo que pasa con nuestras tierras tradicionales de cacería, y me mantengo despierto por las noches. Estoy preocupado pues esto significa no sólo el fin de nuestra forma de vida, sino el fin de todas nuestras vidas” [239]. Afirman también que “los proyectos de arenas bituminosas removerán la vida de un área de la foresta boreal de dos veces el tamaño de Irlanda” (Sierra Club website), “Tar Sands and the Boreal Forest” 2006: <http://www.tarsandstimeout.ca/index.php?>

option=com_content&task=view&id=36&Item. Además, nos informan que las compañías “destruirán el hábitat de pájaros, peces, y mamíferos como el caribú, los osos, lobos, coyotes, lince, castores, ardillas, glotones, martas y ratas almizcleras. La recuperación prometida de los ecosistemas no es una solución creíble”. Y es que para obtener un barril de crudo de las arenas bituminosas mediante minería de superficie (que es el método por el cual se obtiene la casi totalidad de la producción), se remueven 4 toneladas de tierra con la destrucción correspondiente de los ecosistemas existentes previamente; y se utilizan varios barriles de agua para lograr su producción.

Está, además, el gran problema que implican los derrames de bitumen diluido del ducto TransCanada en construcción desde el año 2010. Desde la primera etapa del proyecto Keystone, la tubería ha tenido más de treinta accidentes de fugas. El más grave accidente causó un derrame de unos 4 millones de litros de aceites de bitumen (25,157 barriles) dentro del río Kalamazoo. Y por su alta densidad, contaminó no sólo las aguas superficiales, sino que al hundirse bajo la superficie, contaminó el lecho del río y al romperse las moléculas del bitumen por la acción del sol, volvió a contaminar la superficie del río aún después de que se habían concluido las labores de desnatamiento [240]. El ducto transporta 500,000 barriles por día, y los técnicos encargados de controlar la dinámica del flujo del Dilbit, tardaron una hora y doce minutos en percatarse del accidente y detener el bombeo.

La tubería del TransCanada tiene 30 pulgadas de diámetro por un cuarto de pulgada de espesor, el segmento afectado fue manufacturado por la empresa Siderius en 1969 para transporte de crudo, las soldaduras del mismo son de arco sumergido grado X-52. La tubería está cubierta por una capa de Polyken y tiene una protección contra corrosión externa a través del sistema *impressed current cathodic protection*. El evento ocurrió a una milla al sur del pueblo de Marshall



Figura 21.1: Sección de la tubería del TransCanada, mostrando la ruptura con una longitud de 195.6 cm y 11.4 de ancho. Dicha ruptura ocasiono una derrama del aceite en las inmediaciones del río Kalamazoo.

Michigan. En la Figura (21.1) se muestra la zona de la tubería donde ocurrió la fractura. La foto es cortesía de Environmental Protection Agency (EPA).

El accidente ocurrió el 26 de julio del 2010, y por varios días causó confusión, por cuanto los técnicos encargados de la limpieza y descontaminación ignoraban que el derrame había sido causado por un líquido con características de densidad mayor al crudo que usualmente se transporta por ductos. En sus labores locales, la EPA tenía por objetivo evitar que el derrame y sus efectos alcanzaran el ramal donde el río Kalamazoo aporta su caudal al lago Míchigan, pues este lago junto con los otros cuatro Grandes Lagos son la fuente de agua para el consumo humano de 26 millones de estadounidenses y de 10 millones de canadienses [241]. En Estados Unidos de América este ha sido el mayor accidente de derrame de hidrocarburos a partir de una tubería de conducción de hidrocarburos en tierra firme en toda su historia.

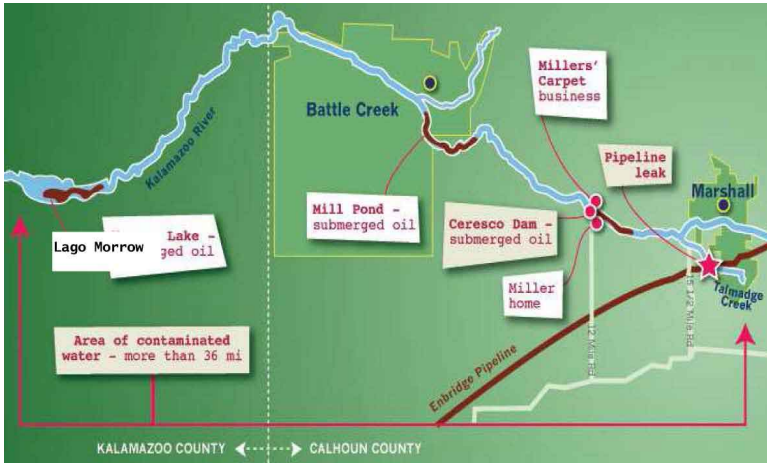


Figura 21.2: Área de la zona donde ocurrió el derrame de la tubería de TransCanada. Se estima que cerca de 2.6 km de las riveras del río Kalamazoo fueron contaminadas.

La Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de EUA), ordenó a la empresa Enbridge que limpiara todo lo contaminado por el derrame, pero después de dos años, aún continúan trabajando en ello para tratar de remover residuos de crudo que se han hundido en el suelo del río y en los humedales. Para junio del 2012 se habían gastado 800 millones de dólares en la limpieza. En otras palabras, el costo de limpiar un derrame de aceites de arenas bituminosas ha sido 18 veces más caro que un derrame convencional de petróleo de proporciones semejantes. Por supuesto que una campaña insidiosa de mercadeo propagandístico es el primer paso lógico de una compañía como Enbridge, la cual busca lavar su imagen en lugar de implementar fuertes medidas de seguridad. La propaganda y boletines de prensa vociferan que sus tuberías de conducción han sido construidas de acuerdo con los estándares de seguridad mundiales que respetan el terreno y la vida silvestre [242].

¿Cuál es la frecuencia de derrames teórica predicha por

la compañía de Keystone y cuál es la realidad? El 5 de julio del 2011 una agrupación de ciudadanos canadienses afirmó [243]: *Recuerden que hace mucho tiempo, TransCanada nos dijo “que se esperaba un derrame de 50 barriles o menos y que ocurriría en algún lugar de toda la línea de conducción una vez cada 65 años. TransCanada nos dijo que se esperaba que los derrames de cualquier magnitud ocurrirían con una frecuencia de 1.4 a 10 años. A lo largo de toda la longitud de la tubería hemos documentado 33 derrames en un año. 33 veces 10, dividido entre 1.4 eso arroja 230 veces el ritmo de derrames predicho teóricamente por la compañía”*.

Y aún después de esta catástrofe, la empresa TransCanada emprendió una campaña pública en la cual miente y trata de manipular la conciencia del público estadounidense y canadiense, escondiendo la catástrofe del río Kalamazoo. A continuación escogemos algunos puntos importantes de su propaganda. El 17 de diciembre del 2012 [244], TransCanada afirma cosas como las siguientes:

El aceite crudo sintético es una forma de crudo el cual se parece mucho al crudo ligero convencional. Dilbit y Synbit tienen características aproximadas a las de los crudos pesados. Los aceites crudos derivados de las arenas bituminosas tienen muchas décadas de estar viajando por los ductos de Norteamérica y las industrias entienden su responsabilidad de producirlos, transportarlos y refinarlos.

Cada lote de crudo tiene sus propias características, deben cumplir con las especificaciones de los procesos de refinamiento para convertirlos en gasolinas y otros productos de petróleo.

TransCanadas Keystone Pipeline transporta 500,000 barriles de crudo canadiense por día hasta las refinerías de EUA, y que en 680 días transcurridos desde la inauguración en julio del 2010 han transportado 340 millones de barriles de Dilbit. Las características físicas y químicas del crudo transportado

son muy similares al crudo pesado proveniente de California, Venezuela, Nigeria y Rusia y refinado dentro de EUA.

¿Es el Dilbit más corrosivo o peligroso que el crudo convencional? No. Varios estudios han mostrado que no existe diferencia en la seguridad o los riesgos que presentan los ductos que transportan bitumen crudo derivado comparado con los crudos ligeros. Un análisis de la estadística de fallas de las tuberías en Alberta, realizada por el Energy Resources Conservation Board, no encontró ninguna diferencia significativa en la frecuencia de fallas en la operación de las tuberías para crudo convencional versus las tuberías que transportan crudo sintético.

Estudios realizados por químicos expertos han concluido que el bitumen diluido se comporta igual que otras formas de petróleo crudo y que no ocasionan más corrosión en las tuberías de conducción. Un estudio por investigadores de Alberta muestra que el bitumen diluido en realidad es menos corrosivo que los crudos convencionales.

¿Requiere el bitumen diluido ser calentado o presurizado para moverse en las tuberías de transporte o conducción del mismo? Los crudos obtenidos de arenas bituminosas son transportados bajo condiciones de presión similares a las de otros crudos pesados. Todas las tuberías están diseñadas para operar bajo una presión máxima, maximum operating pressure (MOP), la cual está determinada por la resistencia mecánica de la tubería. La línea de conducción Keystone está diseñada para una presión máxima de operación de 1,308 libras por pulgada cuadrada (psi) bajo el estándar de una presión máxima de operación del 72 % del valor de la mínima resistencia a la deformación de la tubería.

El bitumen sin diluir requiere ser calentado para su transporte por medio de tuberías, pero el bitumen diluido en la línea Keystone no es calentado para su transporte. Durante el transporte del bitumen diluido ocurre algún calentamiento

debido a la fricción del aceite durante su movimiento dentro de la tubería, sin embargo, la temperatura promedio es de 37 grados Celsius (98 Fahrenheit).

Las presiones y temperaturas de operación de las tuberías de conducción están reguladas por las autoridades de Canadá y EUA. TransCanada es una empresa seria en cuanto a la seguridad y la integridad de sus tuberías de conducción se refiere. El año pasado, se gastaron más de 800 millones de dólares en el mantenimiento de largo plazo y en operaciones de mantenimiento de todas nuestras líneas de conducción de petróleo por toda Norteamérica.

¿Se hunde o flota el bitumen diluido durante los derrames en agua? Los crudos derivados de arenas bituminosas se comportan de la misma manera que el crudo convencional, el cual flota en aguas quietas o con movimiento lento. El crudo de petróleo se hunde si se queda en la superficie mucho tiempo o si se mezcla con polvo durante el derrame, en aguas turbulentas típicamente se dirige hacia el fondo de los ríos donde tiende a pegarse a las rocas, lo cual hace más difícil las labores de limpieza.

Hasta aquí una apretada síntesis de la propaganda de la empresa TransCanada respecto a su línea de conducción de bitumen diluido llamada Keystone.

¿Qué alegan los afectados?

Escogemos dos de ellos. Primero, la clarificación y refutación contra afirmaciones realizadas por representantes de la compañía encargada de la tubería Keystone acerca de la conducción de tar sands oils presentadas por las ciudades Gallatin, Reklaw y Alto, del Estado de Texas, representadas por Rita Beving el 20 de diciembre del 2012 ante la Comisión de Planeación subregional del este de Texas [245]. Segundo, la

presentación del 23 de julio del 2012 del abogado Anthony Swift, especialista en tuberías de conducción de hidrocarburos y derrames, del Programa internacional del Consejo de Defensa de los Recursos Naturales (Natural Resources Defense Council) ante un evento de la Academia Nacional de Ciencias de EUA, que tenía por objetivo identificar temas de seguridad en las tuberías de conducción de bitumen diluido [246]. Lo esencial de ambos documentos es lo siguiente:

- El producto de tar sands o Dilbit no es considerado como crudo bajo las regulaciones IRS, la U.S. House y el comité de Ways Means, relacionados a la industria de conducción de hidrocarburos por tuberías.
- Sólo bajo la presión repetida de un jurado y la orden directa de un juez en la corte del condado Nacogdoches el 13 de diciembre de 2012 es cuando el abogado de Keystone, el Lic. James Freeman respondió la pregunta ¿Qué es lo que conduce la tubería Keystone? con la afirmación Dilbit. Antes, la empresa afirmaba que era crudo sintético con las características de crudo ligero lo que conducía.
- Las ciudades ya mencionadas establecieron claramente que el Dilbit tenía las siguiente características:
 - Material muy denso e inestable con un API de 39.6 que, al exponerse al medio ambiente los componentes volátiles como benceno se evaporan y dejan el bitumen que se parece mucho a los residuos de los procesos de refinación del petróleo conocidos como chapopote, que sirven para pavimentar las calles o los lechos de los ríos cuando ocurre un derrame cerca.
 - Más ácido que el crudo de Venezuela o el West Texas Intermediate, de 4 a 15 veces más ácido.

- Su contenido de azufre es de 2 a 6 veces mayor que los crudos ya mencionados.
 - Fluye bajo presiones de 1440 psi, cuando el crudo convencional lo hace a 600-800 psi.
 - Debido a su gran viscosidad (parece mantequilla de cacahuete por su consistencia, la viscosidad del bitumen diluido es de 40 a 70 veces mayor que el del crudo convencional) la fricción que ejerce sobre el interior de las tuberías durante su flujo hace que alcance 158 grados Fahrenheit. La combinación de altas temperaturas con alta corrosividad puede dar lugar a un incremento en las fallas de las tuberías en comparación con tuberías que conduzcan crudos.
 - Produce altos niveles de sedimentos comparado con el crudo West Texas Intermediate.
 - Adicionalmente, tiene un flashpoint bajo y es explosivo a 0 grados Fahrenheit. En el año 2007, dos trabajadores de Minesota que trabajaban en la línea de la fuga del río Kalamazoo murieron quemados debido a un incendio provocado con Dilbit.
-
- Las 57 especificaciones de seguridad adicional que la compañía TransCanada presume que son adicionales a las regulaciones federales son idénticas a las existentes en dichas regulaciones federales para el transporte de crudo.

¿Cuál fue la causa del accidente en la tubería que derramó Dilbit en el río Kalamazoo?

De acuerdo con Richard Kuprewicz [247], quien es un experto en seguridad en tuberías de conducción de crudo con 40 años de experiencia tenemos, la gran viscosidad del aceite de arenas bituminosas y el uso de diluyentes para adelgazarlo para realizar su transporte por tuberías crea frecuentes alarmas de presión en los sistemas de control y monitoreo, falsos positivos debido a vaporización y creación de burbujas del diluyente y su consecuente condensación con los cambios esperados en volumen y presión; los cuales pueden hacer más difícil detectar un problema real de presión que indique una fuga. Además esos cambios de presión por cambios de fase del diluyente pueden causar problemas de aumento o disminuciones abruptas de presión que pueden dar lugar a picos de presión sobre las paredes de las tuberías. Según Kuprewicz, pruebas anteriores de mantenimiento habían indicado la presencia de pequeñas grietas en la zona del accidente, sin que tuviesen las características tales que se constituyeran en una bandera roja de peligro. Y afirma que "existe un 95 % de probabilidades de que la línea no fallase por corrosión sino que fuera un exceso de presión la que ocasionó la falla. La línea de fractura está localizada a las tres en la posición del reloj en la tubería de 30 pulgadas de diámetro, y presenta el aspecto característico de boca de pescado; cuando las fracturas inducidas por corrosión mayormente se presentan en la línea del fondo de la tubería".

¿Qué fenómenos se presentan o se acentúan en ductos que conducen Dilbit comparados con los que conducen crudos usuales?

De acuerdo con el Natural Resources Defense Council [248], organización internacional sin fines de lucro preocupada por los ecosistemas, la cual agrupa a 1.3 millones de personas de sus estudios, concluyó que: las concentraciones de ácidos en Dilbit son de 15 a 20 veces mayores que en los crudos usuales producidos en EUA. La temperatura del Dilbit durante el bombeo dentro de una tubería de conducción es de 60 grados centígrados, en comparación con 37 de los crudos usuales. Y las cosas se complican cuando recordamos que ante la misma concentración de ácido la rapidez de corrosión se duplica con cada incremento de 10 grados centígrados. Así que las tuberías que conducen Dilbit sufren mayor corrosión que las tuberías para crudos estándar. La viscosidad del Dilbit es de 40 a 70 veces mayor que las de los crudos usuales, lo cual implica mayores presiones de bombeo (pasa de 600 psi a 2,130 psi); las tuberías que conducen Dilbit están sometidas a mayores presiones que las tuberías de conducción de crudos. Las tuberías que conducen crudo convencional no arrastran sedimentos por lo cual no están sujetas a sufrir abrasión; mientras que las que conducen Dilbit contienen materiales abrasivos tales como cuarzo, piritita y silicatos, la tubería de Keystone transporta 24,000 kilogramos de sedimentos por día (48×10^{-6} en peso del Dilbit transportado por día). Lo anterior, aún suponiendo que está distribuido uniformemente dentro del Dilbit, no deja de actuar como un abrasivo sobre las paredes internas de la tubería de conducción; disminuyendo en primera aproximación el espesor de las paredes de la tubería a un ritmo constante.

El proyecto del ducto Keystone ha despertado mucha oposición ciudadana y de científicos dentro de EUA por sus conse-

cuencias respecto al aceleramiento del calentamiento global. El renombrado científico en clima Dr. James Hansen de 70 años, quien dirige el Goddard Institute for Space Studies de la NASA, el director de la agrupación Climate Science Watch, Rick Plitz, y el jefe de clima de la NASA, Amid Cheers, junto con 141 ciudadanos fueron arrestados el 29 de agosto del 2011 en una protesta consistente en un plantón de gente sentada frente a la Casa Blanca cuando pedían al presidente Obama que detuviera la construcción del ducto Keystone XL.¹ En los diez días anteriores habían sido arrestados un total de 21 personas. Hacia el 1 de septiembre ya habían sido detenidos 1,834 personas por protestar contra ese proyecto. Hansen dijo que *“es difícil y raro encontrar líderes como Abraham Lincoln, Franklin Delano Roosevelt y Winston Churchill que tengan la fuerza moral interior para decir la verdad y el coraje para comprometerse con una causa, y luchar contra todo lo que favorezca el calentamiento global es imprescindible en estos tiempos. Por el bien de nuestros hijos y nietos debemos encontrar quien nos ayude a realizar nuestros sueños”* [249]. Previamente había dicho ese mismo día: *“Einstein dijo que pensar y no actuar es un crimen”*. Si nosotros entendemos la situación, debemos tratar de hacerla ver con claridad [250].

Las consecuencias, para la supervivencia de la especie humana, del consumo de combustibles provenientes de las arenas bituminosas de Alberta, Canadá, son graves, como lo explica el Dr. James Hansen en un artículo reciente del New York Times [251]: *“Las arenas bituminosas de Canadá contienen dos veces la cantidad potencial de dióxido carbono que se ha emitido en toda la historia de la humanidad. La quema de la parte explotable de dicho yacimiento de este nuevo tipo de aceite, junto con la quema de los combustibles convencionales*

¹El numero de arrestos fue el mas numeroso que ha ocurrido desde las protestas contra la invasión a Vietnam a finales de los años 60's del siglo anterior.

como carbón, petróleo y gas, elevarán las concentraciones de carbono en la atmósfera a niveles más altos de los presentes en la era del Plioceno hace 2.5 millones de años, cuando el nivel de los mares estaba 25 metros más alto que ahora. Eso hará que la desintegración de los casquetes polares se acelere y se salga de control. Todas las ciudades costeras serán destruidas. Las temperaturas globales serán intolerables, 50 % de las especies del planeta se extinguirán. La humanidad estará en riesgo de extinguirse. Esto será en el largo plazo”. “Pero en el corto plazo las cosas serán muy malas también. En las próximas décadas, el este de EUA y la región semiárida desde Dakota del Norte hasta Texas se convertirá en una región de sequía permanente, con lluvias que cuando ocurran serán eventos extremos que causarán severas inundaciones. Las pérdidas económicas serán incalculables. La región del este medio se convertirá en un bolsón de polvo. El Valle Central de California ya no podrá ser irrigado por agua de bombeo. Los precios de los alimentos subirán a niveles sin precedente”. “Sí, suena apocalíptico, lo es. Es por ello que nosotros necesitamos reducir las emisiones de carbono dramáticamente. El presidente Obama tiene el poder no sólo de negar el acceso del aceite de las arenas bituminosas a las refinerías de la costa del Golfo, del cual Canadá tiene el deseo de exportar al mercado internacional, sino también de imponer una política que incentive el dejar los aceites de las arenas bituminosas y otros combustibles sucios debajo de la tierra”.

El valor de EROI para el aceite proveniente de arenas bituminosas de Alberta es de 1:4. Esto es, se necesita una unidad de energía para obtener cuatro [252]. En el año 2006, EUA importaba de Canadá 565,800 barriles diarios de aceites de arenas bituminosas, lo cual representaba el 3.28 % del consumo diario de energía de EUA [253], y supuestamente, el plan es incrementar sustancialmente las importaciones, puesto que las reservas de EUA son mínimas y de muy mala ca-

lidad, por cuanto las arenas bituminosas de Utah tienen baja porosidad, bajo contenido de bitumen, bajo contenido de agua alrededor de los granos de arena, mayor consolidación y mayor viscosidad bitumen que los yacimientos de Alberta[254].



Figura 21.3: Bitumen Crudo de las arenas de Alberta Canadá.

¿Cuáles son los recursos potenciales mundiales de esta fuente de energía?

Consisten esencialmente en recursos de petróleo (embebidos en arenas) que se han formado sin la protección de una capa geológica de roca impermeable que impida la evaporación de moléculas de hidrocarburos ligeros; y existen debajo de la superficie terrestre. De acuerdo con el Institut Francais du Pétrole [255], los volúmenes mundiales se estiman entre 2.2 y 3.7 millones de millones de barriles (billones), de los cuales entre 1.6 y 2.5 millones de millones de barriles se encuentran en Canadá, principalmente en la provincia de Alberta. Asia tiene 0.27 billones de barriles, Rusia 0.26 billones de barriles,

Venezuela 0.23 billones de barriles y EUA 0.06 billones de barriles en Utah, Texas. Se considera que la porción recuperable es del orden del 12%, las reservas de EUA no tienen valor económico alguno. Sólo 0.14 billones de barriles de las reservas de Alberta son explotables con minería superficial, el resto requiere minería bajo la superficie. De acuerdo con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), en el mundo, la cantidad de petróleo ultra pesado asciende a 1.35 billones de barriles, 90% de los cuales están localizados en Venezuela, y estiman que sólo son recuperables 0.24 billones de barriles. Se estima que sólo el 10% de las reservas de Alberta son económicamente recuperables con la tecnología actual, ello significa una producción de 3 millones de barriles diarios durante más de 150 años [256]. La minería en Alberta es fundamentalmente de cielo abierto.



Figura 21.4: Imagen de uno de los sitios donde se extrae Arenas Bituminosas en Alberta Canadá. Las arenas bituminosas, han de tratarse en instalaciones que aporten altas temperaturas para producir un combustible con la viscosidad del chapopote, el cual al ser disuelto con benceno puede bombearse por tuberías siendo un fluido muy viscoso e inestable. Tomada de http://www.agoracosmopolitan.com/news/ufo_extraterrestrial/2012/11/03/4741.html

Capítulo 22

Oil Shale (Kerógeno) o Pizarra Bituminosa

El término oil shale, en español “*pizarra bituminosa o esquisto bituminoso*”, se refiere a toda roca sedimentaria que contenga materiales sólidos bituminosos (kerógeno), que son liberados como un líquido similar al petróleo cuando dichas rocas (previamente trituradas) son calentadas a través de un proceso químico llamado pirólisis. El oil shale se formó a través de millones de años por el depósito de restos y desechos orgánicos en los fondos de los lagos y océanos. Estuvieron sometidos a valores de presiones y temperaturas menores a los que dan lugar a la formación del petróleo. Donde afloran a la superficie de la tierra, las rocas de pizarra de bitumen contienen suficiente aceite como para ser conocidas como las rocas que arden. Las rocas bituminosas pueden ser procesadas para generar aceite que pueda ser bombeado como el obtenido de los pozos convencionales de petróleo. Sin embargo, extraer el aceite de las rocas bituminosas es un proceso más complejo y caro que recuperar aceite de los pozos convencionales. La pizarra de esquisto o rocas bituminosas deben ser extraídas por minería y luego calentadas a alta temperatura, median-

te un proceso llamado de destilación por retortas. El líquido resultante debe ser separado de la roca y recolectado. Un proceso alternativo es el de destilación por retortas in situ, esto es, en el interior del yacimiento, y también involucra calentamiento de dichas rocas. Terminado el tratamiento se bombea el líquido resultante hasta la superficie [257]. Esta fuente de energía se diferencia del petróleo por cuanto este último en su forma geológica es un fluido y no un sólido como las rocas bituminosas o las arenas bituminosas.

De acuerdo con la profesora de Energía e Ingeniería de Minerales de la Universidad Estatal de Pensilvania, Ljubisa R. Radovic [258]: “El petróleo se forma por el rompimiento de moléculas grandes de grasas, aceites y ceras, desechos de seres vivos muy pequeños que al morir contribuyen a la formación de kerógeno. Este proceso comenzó hace más de 100 millones de años, cuando pequeños organismos que abundaban en los océanos, como formas de vida marina morían y quedaban en los fondos marinos y comenzaban a ser sepultados por arcilla, limo y arena. El gradual decaimiento de las sustancias orgánicas ya mencionadas, bajo la acción de altas temperaturas y presiones dio lugar a la formación de centenares de compuestos que conforman un líquido viscoso llamado petróleo. Por su naturaleza fluida, el petróleo es capaz de viajar a través de la tierra en la que se forma. Para que en el subsuelo se formen yacimientos grandes de aceite que sean recuperables económicamente se deben cumplir dos condiciones: debe existir una alberca o depósito de aceite y una trampa de aceite. Un depósito de aceite está literalmente formado por una alberca de aceite en el caso de que las rocas que la formen no sean porosas, o puede estar formado por gotas de aceite que están muy juntas dentro de una formación de roca muy porosa como arenas. Una trampa de aceite está formada por una formación rocosa no porosa que mantiene la alberca de aceite en su lugar. Obviamente, para que los fluidos (aceite

y gas asociados) permanezcan dentro del depósito bajo tierra deben quedar atrapados y no deben poder fluir o evaporarse hacia la superficie de la tierra. Por tanto el reservorio rocoso que cubre el yacimiento debe ser impermeable al flujo de los hidrocarburos hacia la superficie”.

Evidentemente, desde un punto de vista termodinámico es más fácil y económico, así como energéticamente, extraer un fluido de profundidades similares (petróleo) que tener que procesar térmica y mecánicamente un sólido (ya sea tar sand o oil shale) para extraer un líquido equivalente del petróleo del mismo. Tómese nota que el combustible obtenido de las arenas bituminosas es más barato que el obtenido de oil shale por cuanto el estado de agregación de los sólidos que contienen el aceite son menos compactos que las rocas bituminosas o pizarras de esquisto. De acuerdo con la actualización de Wikipedia del 28 de febrero, 2013 a las 08:56 [259], el oil shale gana atención como fuente potencial abundante de aceites cuando el precio del petróleo aumenta por encima de los 90 o 100 dólares el barril. Lo anterior está de acuerdo con el hecho económico fundamental de que siempre que se explota un tipo de recurso se comienza la explotación con del más barato y abundante; por ejemplo, la construcción y explotación de energía hidroeléctrica comienza por las fuentes de mayor caudal y máxima altura de caída, así como las fuentes más redituables de los hidrocarburos, etc.

De acuerdo con un estudio realizado por el Departamento Temático de Política Económica y Científica del Parlamento Europeo [260], el oil shale puede ser utilizado para propósitos diversos como obtener calor por combustión directa (por ejemplo, para la generación de energía eléctrica como es el caso de Estonia), producir aceite de esquisto, gas de esquisto y otros compuestos químicos valiosos. Por ejemplo, en el caso de combustión directa, una tonelada de pizarra de esquisto en Estonia permite producir 850 kWh de electricidad o 125

kilogramos de aceite de esquisto (39,800 kJ/kg), y 35 m^3 de gas shale (46,800 kJ/ m^3).

Por otro lado, pulverizar una tonelada de roca para obtener partículas de una micra de diámetro y posteriormente mediante tratamientos termoquímicos extraer el petróleo de ella, cuesta 20 kilogramos de petróleo al realizar la fractura por medio de explosivos (The Pulverization of Concrete in WTC 1 During the Collapse Events of 9-11, By F. R. Greening; <http://www.911myths.com/WTCCONC1.pdf>). De lo anterior se deduce que a lo más el *EROI* correspondiente a la profundidad en que se encuentra la roca de pizarra de esquisto es de 5.0. Este valor se reduce considerablemente al tomar en cuenta los costos de perforación, de fabricación de los explosivos, así como del acarreo del mineral en bruto a la superficie que sólo puede realizarse con materiales cercanos a la superficie, por cuanto no podría realizarse el proceso de pulverización dentro de la mina ya que habría una expansión de volumen del orden del 30 % entre la roca y el polvo de la misma. *Un cálculo al detalle que toma en cuenta los factores antes citados indica un valor máximo de 3.0 para el valor de EROI en la producción de petróleo a partir de esquisto en la superficie a boca de mina—.*

El gas shale o gas de esquisto se encuentra atrapado en las rocas de pizarra de esquisto y es distinto al gas que proviene de depósitos de baja permeabilidad característicos del gas natural convencional. Las pizarras son rocas sedimentarias de granos finos, predominantemente formadas por arcilla consolidada que fue depositada como barro en condiciones de baja energía, y pueden contener otros minerales como cuarzo, calcita y pirita. Estos depósitos están combinados con sedimentos de materia orgánica de tamaños muy pequeños en forma de algas, plantas y desechos orgánicos derivados de animales. Las formaciones de rocas de esquisto son fuentes y a la vez reservorios de gas natural, el cual es predominan-

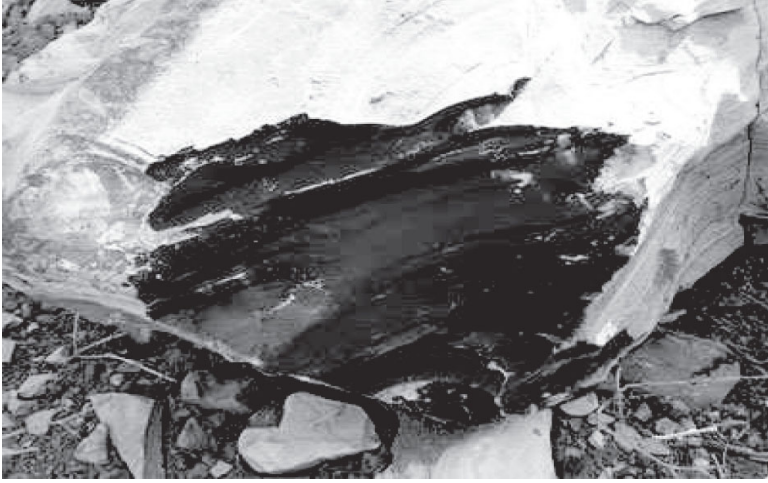


Figura 22.1: Aspecto de las rocas-pizarra de esquisto.

temente metano (alrededor del 90 %) pero también contiene otros hidrocarburos, dióxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, y gases raros. Estos gases son mantenidos dentro de dichas formaciones en las fracturas naturales y en los poros del material o absorbidos en los materiales orgánicos de la formación mineral. El gas embebido en las rocas de esquisto (oil shale rocks) debajo de la superficie de la tierra se ha considerado inaccesible por mucho tiempo, debido a los altos costos de perforación y porque las rocas de esquisto tienen baja permeabilidad (son muy compactas) por lo cual es poca la recuperación del gas asociado a velocidades de producción a gran escala. Los nuevos métodos de perforación horizontal, combinados con las técnicas de fracturamiento de rocas han logrado por primera vez la producción de gas en gran escala, aunque no por ello sea una producción económicamente rentable [260].

En la Figura 22.2 se presenta un mapa de los posibles recursos mundiales de gas shale (de esquisto) de acuerdo con datos aportados por la Agencia Internacional de Energía (In-

ternational Energy Agency) de EUA en 2011, lo cual no corresponde con los recursos económicamente aprovechables que pueden y son muchísimo menores al total.

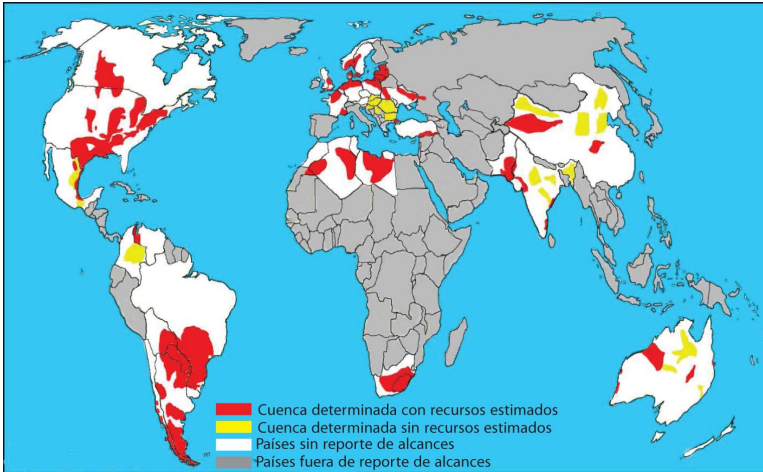


Figura 22.2: Mapa de los recursos mundiales de Gas Shale (de esquisto). .

De acuerdo con Wikipedia [262], en 2005 se estimaba que los recursos posibles a nivel mundial ascendían a entre 2.8 y 3.3 millones de millones de barriles de aceite shale, con la reserva mayor en EUA (1.5 a 2.6 millones de millones de barriles), de las cuales sólo una fracción pequeña sería recuperable técnicamente mas no económicamente.

De acuerdo con un estudio mundial sobre energía del año 2010, realizado por la Agencia Internacional de Energía (EIA, por sus siglas en inglés), véase Figura (22.3), los recursos mundiales de aceite de esquisto pueden ser equivalentes a más de 5 millones de millones de barriles de aceite in situ de los yacimientos, de los cuales consideran que más de un millón de millones de barriles pueden ser recuperados desde el punto de vista técnico. Dicha cantidad es equivalente a lo que resta de petróleo a nivel mundial. Estos datos han de tomarse con

algún cuidado por cuanto varias ocasiones, las cifras públicas aportadas por la EIA han sido cuestionadas o desmentidas por especialistas en energéticos como Kjell Aleklett, profesor de la Universidad de Uppsala en Suecia, quien ha acusado a dicha agencia de que sus pronósticos para el futuro energético del planeta son cuentos de hadas, y aportan datos erróneos en materia energética [263].

Que las cifras aportadas por la EIA respecto a las reservas mundiales de aceite de esquisto son exageradas lo comprueban los siguientes datos del Departamento de Política Económica y Científica del Parlamento de la Unión Europea [260].

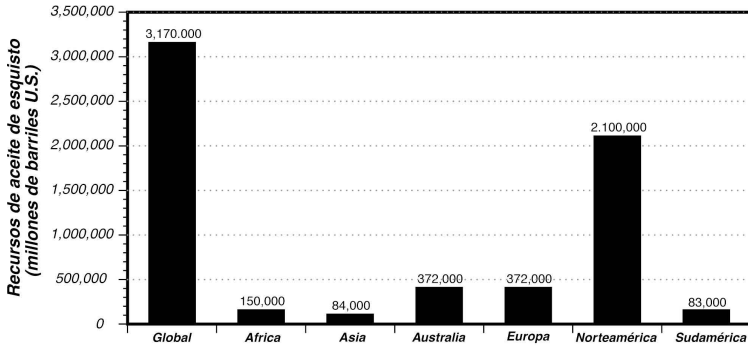


Figura 22.3: Estimación de los recursos globales de aceite de esquisto en millones de barriles de EUA.

En EUA el uso mayoritario de la pizarra de esquisto es la producción de gas de shale.

En un trabajo reciente [264], el renombrado geólogo petrolero Arthur Berman, después de un profundo análisis de la explotación del gas shale, explica su auge de la siguiente manera: “Ha ocurrido un corrimiento en el suministro de gas doméstico en EUA al taladrarse mayoritariamente formaciones de pizarra de esquisto para obtener gas a partir de fuentes rocosas que previamente se habían considerado demasiado costosas para desarrollarlas. El número tremendo

de pozos taladrados en años recientes ha contribuido a que exista una sobreoferta de gas. La revolución del gas shale no comenzó porque el producir aceite y gas a partir de shale (pizarras) fuera una buena idea, sino porque las oportunidades más atractivas desde el punto de vista económico fueron largamente explotadas y agotadas con anterioridad”.

En cuanto a la producción anual de gas de esquisto en EUA, véase la Figura (22.4). ¿Qué tan segura es la produc-

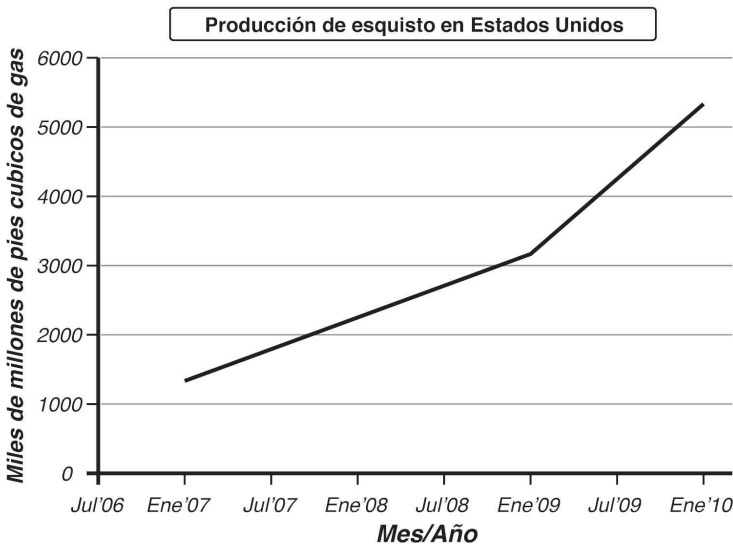


Figura 22.4: Producción anual de gas Shale en Bcf (Billions of cubic feet) que es miles de millones de pies cúbicos. Datos oficiales del gobierno de EUA [265].

ción de gas shale de EUA al futuro, según el gobierno federal de Obama, y cómo ve en general el problema energético el gobierno federal que él encabeza? En enero 24 del 2012, el presidente Obama de EUA dio un discurso sobre el estado de la Unión ante los miembros del Congreso [266], y fue toda una declaración política preparatoria del ánimo del pueblo estadounidense para grandes acciones globales futuras y establece

las bases estratégicas de acciones a largo plazo. El mismo empezó a las 9:10 P.M. EST. y terminó a las 10:16 P.M. EST. La parte esencial respecto a energéticos es la siguiente: *“Tenemos suministros locales de gas natural que le van a durar a América (el imperio considera que Estados Unidos de América es toda América) cerca de 100 años. (Aplausos). Y mi administración emprenderá cada acción posible para desarrollar esta energía con seguridad. Los expertos creen que este desarrollo permitirá crear más de 600,000 trabajos para el fin de esta década. Estoy requiriendo a todas las compañías que perforen en tierras públicas que den a conocer los químicos que utilicen. (Aplausos). Porque EUA desarrollará este recurso sin poner en peligro la salud ni la seguridad de nuestros ciudadanos”*.

Este discurso de Obama es consecuencia de otro del año 2009 [267], en el que anuncia planes para lograr la independencia energética del país, objetivo que han declarado todos los presidentes de EUA desde Richard Nixon. A continuación resumimos de ese discurso lo relevante para los países que seremos afectados por dicha potencia: “Antes de que comience el anuncio de hoy, yo deseo decir unas pocas palabras acerca de la profundización de la crisis económica que hemos heredado y la cual requiere de acciones urgentes. Nos debemos a todos y cada uno de los estadounidenses de América el actuar con un sentido de urgencia y propósito común. Nosotros no podemos permitirnos distracciones y tampoco podemos permitirnos retrasos. Estos son tiempos extraordinarios, y exigen acciones rápidas y extraordinarias. En este tiempo de tan gran desafío para EUA, ningún tema es tan fundamental para nuestro futuro como el de la energía. La dependencia de EUA respecto al petróleo es una de las más grandes amenazas que enfrenta nuestra nación. Esta amenaza desbanca el peligro que representan los dictadores, la proliferación nuclear, funde ambos asuntos con nuestra lucha contra el terrorismo.

Pone al pueblo estadounidense a merced de los aumentos de precio de los combustibles, ahoga la innovación y disminuye nuestra capacidad de competir”.

¿Qué dicen los expertos acerca del gas shale y asuntos relacionados? En el año 2010, la revista internacional The Oil Drum realizó una entrevista al destacado geólogo petrolero Arthur Berman¹ realizada por el equipo de la organización internacional Peak Oil Review team [268]. Acerca de los volúmenes de las supuestas reservas de gas shale, Arthur Berman afirma: *“Yo no creo que dichas reservas estén ni siquiera cerca de las magnitudes que ha mencionado la prensa. Las reservas han sido sobrestimadas de manera sustancial. Si tú investigas el origen de las supuestas reservas de gas para 100 años uno se pregunta ¿de dónde vienen? Tendrían que estar soportadas por el reporte del Comité de Potencial de Gas (PGC, por sus siglas en inglés), si ves la magnitud de las reservas técnicamente recuperables que ellos establecen y las divides por el consumo anual actual de EUA, tú llegas a la cifra de 90 años, no 100. Alguien diría que estás de exquisito partiendo cabellos, pero 10 % es 10 %. Y si uno lee y estudia cuidadosamente dicho reporte, ellos en realidad establecen que las reservas técnicamente recuperables se acerca a 450 Tcf (Trillones de pies anglosajones cúbicos, o en notación científica, billones de pies cúbicos) lo cual es muy distinto a la cifra que alegremente aportan de 1800 Tcf. Lo que significa lo anterior es que si te pones a ver cuántos de los pozos perforados producen gas en la realidad encontraremos que en promedio la cifra recuperable sería cercana a 450. Y como el componente de los pozos que es gas shale es un tercio, entonces conseguiremos 150 Tcf, lo cual nos aporta 7 años de*

¹Berman ha publicado más de cien artículos sobre geología del petróleo y la tecnología asociada en su extracción. Durante 2012 realizó mas de 50 presentaciones a sociedades científicas e inversionistas relacionados con temas del petróleo y gas.

gas que provenga de oil shale. Yo considero que esta cifra es una muy buena estimación realista de lo que podremos extraer. Y recuerden que dicha cifra se refiere a los recursos que técnicamente se podrán extraer y no a la cantidad que será económicamente rentable extraer que será una cifra cercana pero menor”.

“Otra cosa importante es lo relativo al yacimiento de oil shale en Barnett. Recientemente agrupé los datos de producción de los pozos en Barnett, observando su primer año de producción. Me pregunté: ¿cuántos de ellos estaban debajo de su límite económico? El resultado de este ejercicio fue asombroso, porque lo que ello mostró es que entre el 25 % y 35 % de los pozos perforados durante el período 2004-2006 de la fiebre del gas shale que ahora tienen en promedio 5 años de antigüedad son pozos subcomerciales. Así que si tomamos la posición de que vamos a conseguir que todas esas supuestas grandes reservas nos van a durar 40 años a futuro, debemos poder explicar por qué un tercio de los pozos perforados estarán muertos a los 4,5 y 6 años de operación”.

“Algunos de esos pozos nunca deberían haber entrado en producción. No estoy hablando de los pozos que de entrada están secos, pues sabemos que entre el 5 % y 7 % de los pozos tienen fallas operacionales fatales por alguna razón. Incluyendo estos, existen otros más que yo llamo inactivos; son productivos pero lo hacen a precios muy caros y no son comerciales por lo cual se sellan. Yo dirijo una empresa pequeña y no puedo tener pérdidas constantes durante la explotación de un campo, el límite para cerrar un pozo es que produzca sólo un millón de pies cúbicos al mes pues con los precios actuales del gas no puedes cubrir ni siquiera los gastos de renta de la tierra y los gastos de operación. Hablo de mi propia experiencia”.

“Entonces ¿por qué las grandes empresas siguen produciendo gas shale? Todo gira alrededor de las cifras de produc-

ción. Llamamos a estos juegos de activos o juegos de recursos, que refleja que las reservas probadas están creciendo aunque no obtengan beneficios, y lo que cuenta para los mercados es que esté creciendo la producción global de dicho recurso. El hecho es que está creciendo la producción y se está produciendo un gigantesco excedente que está causando que el precio del gas se desplome, lo que hace que todo el mundo pierda dinero pero se cumple con el objetivo: demostrar que tienen este gran nivel de producción, y que la producción va en aumento.”

Hasta aquí la síntesis sobre la entrevista al geólogo petrolero Arthur Berman, realizada por The Oil Drum.

Así que en cuanto a producción directa no se está obteniendo ganancia alguna, la ganancia es de tipo financiero-especulativo porque con esa burbuja especulativo-productiva se aportan las condiciones para atraer capital fresco, y el proceso de atracción según Berman puede durar alrededor de 25 años, según ejemplos históricos en otras áreas de la economía. La idea es que mientras siga incrementándose la llegada de capital fresco, el nuevo capital sirva para pagar los intereses y ganancia prometida al capital anterior y además, para que los organizadores de la pirámide especulativa tomen su tajada. Es el mismo esquema de las pirámides con que esquilman a multitud de personas prometiéndoles cuantiosas ganancias a través de e-mail, etc. Sólo que a lo grande.

Después de la presentación de un trabajo por Arthur Berman en la reunión del 2009 de la Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y del Gas (en inglés, Association for the Study of Peak Oil & Gas, ASPO), se originó una discusión de cinco horas sobre el asunto entre quienes habían escuchado la plática. La reportera de Associated Press, Judith Koheler, publicó un artículo de análisis en más de cien periódicos de EUA, con el título *Gas shale may be next bubble to burst* (“El gas de shale, tal vez la siguiente burbuja en estallar”),

dicha publicación puso el tema en la mesa de la discusión pública. De inmediato se desataron respuestas periodísticas de las compañías implicadas con ataques ad hominem contra el profesor Berman; en lugar de discutir sobre sus argumentos científicos y técnicos.

En cuanto se refiere a la rapidez de declinación de la producción de los pozos de gas shale, Berman [269] afirma lo siguiente: Muchos creen que la rapidez inicial de producción de los pozos aseguran el éxito. Sin embargo lo que no toman en cuenta es que la rapidez de disminución de la producción es muy alta comparada con pozos de gas convencional. Por ejemplo, los pozos de gas natural convencional declinan su producción a un ritmo de 20 % por año, mientras que la producción de los pozos de gas shale declina a un ritmo de 33 % por año y frecuentemente mucho más alto [269]. Y como señala Berman, en fechas recientes una coalición de usuarios de gas, entre los cuales se encuentra Dow Chemical Company, se opone a que, a consecuencia del boom del gas shale, se exporte gas por cuanto eso aumentaría los precios internos y reduciría la competitividad internacional de los negocios de EUA.

No hay duda de que existen volúmenes muy grandes de gas shale bajo tierra [269]; el problema es que no son comerciales aún con precios muy altos como los actuales. Para atraer inversionistas, se les dice que la inversión es redituable aún con precios menores a 5 dólares por millón de pies cúbicos, cuando los costos de equilibrio (cero ganancias) están en el nivel de 7 dólares por millón de pies cúbicos. Las 10 compañías más grandes en el ramo tienen una deuda acumulada por producción de gas shale de más de 30,000 millones de dólares, y las primeras 3 de ellas deben, de manera combinada, 20,000 millones de dólares [269].

En cuanto a las expectativas de que a largo plazo los costos de este tipo de gas disminuyan, Berman afirma [270]: La

verdad pura y simple acerca de la explotación del gas shale es que en yacimientos similares de gas natural convencional cuando este es obtenido de medios de baja permeabilidad, constituidos por rocas de arenisca compacta (tight sandstone) y camas de carbón, resulta que los beneficios económicos obtenidos son marginales. Los depósitos de gas shale tienen una permeabilidad varios órdenes de magnitud inferior que los depósitos de gas natural (metano), que proviene de rocas de arenisca compacta y camas de carbón. ¿Por qué los analistas promotores del gas shale ciegamente piensan que los resultados comerciales para el caso de gas shale serán diferentes? La respuesta simple está en la alta producción inicial, y los que imaginan que a largo plazo los costos de reestimulación de los pozos será menor que el de los pozos de gas convencional sufrirán una fuerte desilusión.

De acuerdo con Chris Nedler (octubre del 2012 [271]), la producción de gas dentro de EUA está por tocar su máximo, ya que muchas áreas productivas de gas están declinando su producción. Adicionalmente, Fiona Harvey [272], corresponsal acerca del medio ambiente de The Guardian, al entrevistar a diversos expertos, obtuvo declaraciones importantes.

Ed Matthew, director del think tank llamado Transform UK advierte que la Independencia Energética no incrementará la seguridad nacional de EUA, si da lugar al desbocamiento del cambio climático. Finalmente la mayoría de las reservas de combustibles fósiles deberán quedarse debajo de tierra sin usarse. EUA es un semillero de innovación tecnológica. Debe utilizar su músculo creativo para desarrollar una revolución energética limpia y de bajo costo. Esto sólo ocurrirá si los poderosos intereses de la industria petrolera son sometidos por el control democrático del pueblo de EUA.

Rolf Wuestenhagen, director del Instituto de Economía y del Medio Ambiente de la Universidad de St. Gallen en Suiza, cuestiona si el boom del gas shale cumplirá con las

expectativas: “Me parece sorprendente que el IEA todavía espere que la mitad de la producción mundial de gas para 2035 provenga de gas shale”. Y termina con una pregunta: “¿No será un deseo ilusorio?”

Y ¿cómo se ve la situación en la prensa en EUA y fuera de dicho país? Tomemos, por ejemplo, algún artículo del New York Times. El 25 de junio del 2011 y el día siguiente, el periódico publicó sendos artículos bajo la firma de Ian Urbina [273,274] respecto a la producción de gas shale dentro de EUA, el material informativo utilizado por el NYT fue aportado por especialistas a los que se les aseguró el anonimato para evitar represalias². El primero presenta las opiniones de miembros del staff de varias compañías de gas natural en cuanto se refiere al gas shale; el segundo aporta las opiniones y consideraciones de miembros del staff técnico de la Agencia de Información de Energía del gobierno de EUA. Como veremos a continuación en ambos ámbitos, el privado y el público, se expresan fuertes dudas respecto a la viabilidad del gas shale tanto a nivel económico como respecto a su capacidad para ofrecer volúmenes importantes de gas en forma segura a largo plazo.

A continuación un breve resumen de dicho material: *“Las compañías de gas natural han apostado muy fuerte en los pozos que están perforando, afirman que van a obtener grandes ganancias y que proveerán a EUA de una nueva fuente vasta de energía. Pero el gas no es tan fácil y barato de extraer de las profundidades de rocas de pizarra de esquisto como dicen las compañías, de acuerdo con centenares de documentos internos y correos electrónicos de dicho sector industrial y del análisis de datos de miles de pozos”*.

“En los e-mails ejecutivos de las empresas gaseras, abogados industriales, geólogos y analistas de mercados, hacen

²El NYT publicó todo el material que le enviaron empleados del gobierno y empresas.

notar su escepticismo acerca de las proyecciones de producción y se preguntan si las empresas de manera intencional, e incluso ilegal, no han exagerado la productividad de los pozos y el tamaño de las reservas. Muchos de estos e-mails también sugieren una visión que está en marcado contraste con las declaraciones públicas más optimistas realizadas por la industria del gas shale, casi de la misma manera en que los trabajadores de otras industrias han planteado dudas respecto a burbujas financieras que han estallado en el pasado”.

“El sentir en el mundo de los independientes es de que el campo de inversión del shale oil sólo es un gigantesco Ponzi scheme³ y que lo económico simplemente no funciona, dijo un analista de IHS Drilling Data, compañía en investigación energética, según escribió en un e-mail el 28 de agosto del 2009”.

“Se sabe que las cámaras legislativas locales y federales están considerando incrementar drásticamente los subsidios a los negocios de gas shale con la intención de que puedan proveer en las próximas décadas de energía barata a los consumidores”.

Desde el punto de vista técnico en cuanto a contaminación del medio ambiente se refiere, comentan: “La técnica de hidrofracturamiento requiere el uso de 3.75 millones de litros por pozo, y por los químicos que utiliza produce contamina-

³ Ponzi scheme, de acuerdo con Wikipedia, “es una operación de inversión fraudulenta (en México conocidas como pirámides) que ofrece ganancias muy superiores al promedio; las cuales son pagadas de su propio capital o del capital de los subsecuentes inversionistas. El que se mantenga operando la operación fraudulenta y pueda dar a los inversionistas las ganancias prometidas en los tiempos acordados requiere un flujo siempre creciente de dinero fresco aportado por nuevos inversionistas”. Por supuesto que en estos casos los organizadores del fraude negarán de manera directa y a través de voceros comprados (técnicos y periodistas) que su inversión tenga carácter fraudulento; y atacarán a quienes afirmen lo contrario.

ción del agua utilizada; dos tercios de la cual se absorben bajo tierra”.

Un geólogo retirado que trabajó en una gran empresa de petróleo y gas, escribió un e-mail, en el cual comenta: *“Y ahora estos gigantes corporativos están teniendo su momento Enron; ellos están doblando la luz para esconder la verdad”.*

Richard K. Stoneburner, presidente y jefe de operaciones de PetroHawk Energy, dijo: *“Considerar que cada formación de gas shale es homogénea es un error por cuanto las compañías grandes han taladrado únicamente las mejores áreas o las que tienen más bajos costos de operación. Fuera de esas áreas, tú puedes taladrar una gran cantidad de pozos que nunca van a cumplir con lo prometido o lo esperado; además los pozos están declinando su producción de una manera muy distinta de la predicha por las compañías, y no declinan de manera estable sino de forma acelerada”.*

“Una revisión de 9,000 pozos en producción (datos del 2003 al 2009) muestran que menos del 10 % de los pozos han recuperado sus costos de perforación y mantenimiento tras 7 años de operación”.

Sobre la información filtrada por técnicos de la Administración de Información Energética de EUA, el New York Times, a través del reportero Ian Urbina, sostuvo que, aún cuando en sus reportes anuales la Administración de Información Energética, (abreviada EIA en inglés), División del Departamento de Energía, ha venido incrementando constantemente las reservas probadas de gas natural, y ha afirmado repetidamente a inversionistas de la industria del gas y el petróleo que está al alcance un futuro próspero. Dicha visión no es compartida al interior de la Administración de Información Energética.

Funcionarios de la Administración de Información Energética, afirman entre otras cosas que *“las industrias de gas shale*

parecieran estar trabajando para fallar. Es altamente probable que muchas de estas compañías vayan a la quiebra". "Varios funcionarios manifiestan su preocupación de que se repita la ocurrencia del estallido de una burbuja especulativa como ha ocurrido en el pasado reciente en sectores como el inmobiliario, y en diversos sectores de tecnología de punta". "Los técnicos de EIA consideran que las compañías han sobreestimado la cantidad de gas que se puede extraer con ganancia económica".

"Pareciera que la ciencia apunta en una dirección y la industria dedicada a la extracción del gas shale apunta en otra, esto es de locura". Escribe un analista de EIA.

¿Cuánta es la recuperación del gas shale comparada con el gas natural? De acuerdo con la agencia gubernamental de Australia, National Science Agency, CSIRO [275], la recuperación del gas shale oscila entre 28 % y 40 % del gas presente en el yacimiento, comparado con el 60-80 % de recuperación en pozos convencionales de gas. Sin embargo, Halliburton Company, en su propaganda, afirma que esperan obtener una recuperación máxima de gas shale de entre el 11 y el 18 % [276]; así que nos inclinamos a creerle más a Halliburton que anda detrás de los dólares. El promedio de recuperación in situ del gas natural convencional arroja un valor de 70 %, comparado con 15 % en promedio para el gas shale. Resulta que la recuperación del gas shale in situ, es una cuarta parte de la recuperación del gas natural convencional!

El hecho de que muchos pozos de gas shale en EUA se hayan realizado sólo para elevar los datos de explotación-producción con los propósitos especulativos previamente mencionados, ha incrementado la cantidad de gas quemado a la atmósfera en los campos de explotación de EUA a grado tal, que se distinguen desde el espacio por satélites de observación (vease Figura 22.5) [277]. Es antieconómico construir líneas de gas y tanques de almacenamiento para manejar y apro-



Figura 22.5: Emisión lumínica de los pozos del gas Shale del campo Bakken en Dakota del Norte del 23 de enero de 2013. El brillo es comparable con las ciudades de Chicago o Mineapolis. Foto tomada por la NASA.

vechar el gas de los pozos menos productivos (los cuales, de por sí, no dan ganancia); y sería peligroso confiar en un taponamiento hermético de los pozos de explotación que no son rentables. Esta conducta irracional y suicida respecto al futuro de la humanidad está impulsada por la sed de ganancia de las compañías gaseras asociadas a la producción del gas shale. EUA ha triplicado la quema de gas en tan sólo cinco años, convirtiéndose en el quinto quemador mundial de gas en los propios yacimientos, detrás de Rusia, Nigeria, Irán e Irak [277].

¿Y cómo son los costos de perforación? De acuerdo con el geólogo Terry Engelder, para perforar un pozo de gas shale se necesitan aproximadamente 800,000 dólares respecto al pozo vertical y 3 millones de dólares para realizar la parte horizontal de la misma [278]. Véase la Figura 22.6. Típicamente se realizan de 10 a 20 fracturas en la región horizontal del pozo

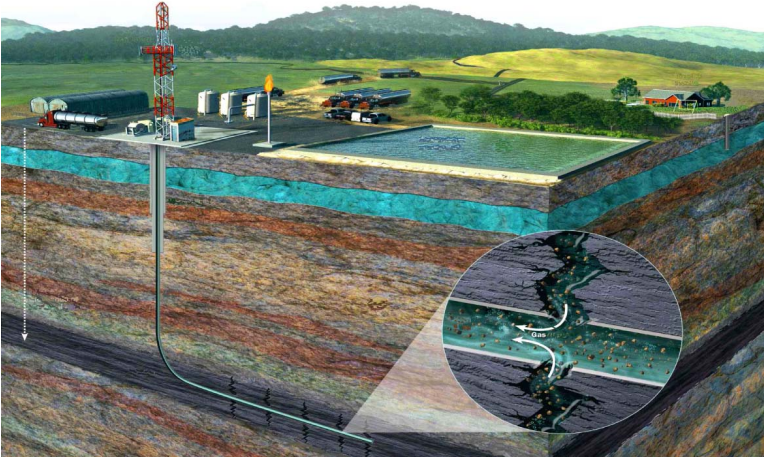


Figura 22.6: Corte esquemático que muestra la técnica para la extracción del gas Shale. Tomada de la referencia [275].

(que tiene una longitud de entre 1 y 2 kilómetros de longitud) mediante cartuchos de explosivos que contienen balines de acero. Luego se inyecta un líquido a presiones mayores que la requerida para fracturar bloques de roca. Las presiones utilizadas usualmente son de 170 a 300 veces mayores que las utilizadas para inflar las llantas de los automóviles. El líquido está formado por cantidades iguales de agua y está adicionado con distintas sustancias químicas, las cuales cumplen distintas funciones como impedir la reproducción de bacterias que puedan degradar el gas, lubricantes, anticorrosivos, gelatinizantes que impidan que las arenas se separen del líquido por gravedad, inhibidores de calcificación para impedir el taponamiento de las grietas en las rocas por donde fluye el gas, disminuidores de la tensión superficial de los líquidos para lograr que éste se introduzca muy lejos dentro de las fracturas artificiales, etc. [279] Las proporciones utilizadas de las distintas sustancias se pueden encontrar en la referencia [280].

La función de todas estas sustancias, muchas de las cua-

les son cancerígenas, si son ingeridas, es favorecer la acción de las arenas, cuyo papel es mantener abiertos los espacios hechos (como fracturas), para que el gas fluya por ellas cuando se retira la presión hidráulica, que causa la expansión de las fracturas originadas por las cargas explosivas antes mencionadas. Al salir el gas por las fracturas impulsa al exterior una porción del agua inyectada, usualmente la mitad o un tercio, el resto se queda dentro del yacimiento y se puede mover hacia diversos mantos acuíferos. Los datos relativos a los viajes necesarios y los energéticos utilizados en cada etapa de la perforación de pozos de gas shale, proporcionados por el estado de Nueva York respecto al campo Marcellus, aparecen en la referencia [281]. En dicho trabajo consta que el número de viajes que deben realizar los camiones para perforar cada pozo de gas son aproximadamente 5,000, de los cuales el 90 % está relacionado con el proceso de fractura hidráulica. Obviamente, la disrupción y daño a los ecosistemas y a sus miembros móviles es irreparable debido a la fragmentación que causan los caminos usados por los tráileres, necesarios para conectar los pozos de gas shale separados cada uno por 800 metros de distancia. Todo este daño sólo para que en promedio la vida útil de los pozos de gas shale sea de 7 años [282].

Finalmente, ¿qué insinúan los expertos del gobierno, bajo la acción social de los técnicos, en contra de la viabilidad del gas shale? En la conferencia “Federal Forecasters Conference. The Value of Government Forecasts”, del 27 de septiembre del 2012, en Washington , D.C., el jefe de la EIA, Adam Sieminski, en su presentación en Power Point llamada “Energy Forecasting in Volatile Times”, afirmó lo siguiente: “Shale gas resource potential and related costs remain highly uncertain”, lo que significa, “los recursos potenciales de gas shale y los costos relacionados permanecen altamente inciertos” ¿Quiénes están invirtiendo a lo grande en gas

shale? Dentro de EUA, las grandes empresas asociadas con sectores financieros especuladores, bajo la dirección- coordinación, y jugosos subsidios del gobierno federal que juega su plan geopolítico para distraer de un posible zarpazo final a las potenciales presas poseedoras de preciosos hidrocarburos abundantes y mucho más baratos y seguros que los aceites y gases de las arenas bituminosas de Alberta y el gas shale de EUA. Y de fuera de EUA, todas las empresas ricas que no tienen un soporte técnico-científico sólido en lo relativo a hidrocarburos no convencionales y que, por tanto, creen en el vellocino de oro a bajo costo, invierten en gas shale dentro de EUA.

¿Cuánto y cómo contamina la minería de gas shale, y cómo afecta a los ecosistemas cercanos? De acuerdo con Wikipedia [283]: muchos de los químicos adicionados al agua para realizar el proceso de fracking (0.5%) del volumen total son posibles cancerígenos. Del volumen de fluido que se inyecta se recupera alrededor del 50% y se guarda en pequeños estanques en espera de ser trasladados por un carro tanque. Es frecuente que los líquidos que quedan debajo de la tierra contaminen las fuentes locales de agua con metales pesados e hidrocarburos.

Según un reporte del programa Ciencia del agua del subsuelo de Gran Bretaña, realizado por M. E. Stuart [279] durante el año 2011, está documentada la contaminación del agua del subsuelo utilizada para tomar por las poblaciones debido a filtraciones de metano y otros contaminantes de los pozos de gas shale cercanos a las comunidades. Afirman también que antes de perforar pozos se requiere realizar estudios de profundidad de los yacimientos de los acuíferos locales para determinar la vulnerabilidad de los éstos ante la posible contaminación del agua. La Universidad de Manchester publicó recientemente (2011) un estudio [284] acerca del gas shale, en el cual concluyen que existe evidencia suficiente que sugiere

que la explotación del gas shale implica un riesgo significativo para la salud de los seres humanos por cuanto muchas de las sustancias utilizadas para realizar el fracking tienen propiedades tóxicas, cancerígenas y otras propiedades peligrosas. Enfatizan que además existe mucha evidencia anecdótica de contaminación del agua superficial y del subsuelo dentro de EUA debido a la explotación del gas shale. Y termina afirmando que la presión social acerca de dicho asunto obligó al gobierno a lanzar un programa de investigación acerca de la posible contaminación de las aguas mediante la Agencia de Protección Ambiental de EUA (EPA, por sus iniciales en inglés).

El otro problema que ya se mencionó parcialmente es la alteración de los ecosistemas superficiales en el caso de que se pretenda extraer del yacimiento roca de esquisto para obtener aceites. En este caso, según el estudio realizado por el departamento de energía del Parlamento Europeo [260], se crearán grandes cantidades de montículos de restos de material contaminante en la superficie, pues cada metro cúbico de roca que se extrae, debido al proceso de molienda y tratamientos térmicos a que se le procesa, incrementa su volumen en un 25 %; así que por cada barril de petróleo obtenido tendríamos una tonelada y media de tierra en la superficie que antes estaba debajo de ella. De acuerdo con dicho estudio, antes de comenzar los proyectos de producción en esta dirección, es necesario realizar múltiples análisis respecto a los posibles impactos que puede causar en los ecosistemas cercanos.

En el estudio ya mencionado, [279] realizado por la Unión Europea, hacen notar que entre otras cosas los problemas causados por la explotación del gas shale han obligado al estado de Nueva York a detener los nuevos procesos de fracturamiento en el campo Marcellus Shale durante el año del 2011. Tomando en cuenta lo anterior, la Unión Europea ha esgrimido el principio precautorio respecto al gas shale y afirman

que la explotación se detiene cuando la EPA entregue su reporte en el año 2013; y dependiendo de sus hallazgos, tal vez se suspenda por más tiempo.

En el estudio de la Universidad de Manchester [284], se concluye también que el uso del gas shale puede incrementar muy rápido la concentración de carbono en la atmósfera, reduciendo la escasa posibilidad de mantener el incremento de temperatura por debajo de los 2 grados, lo cual incrementa mucho el riesgo de entrar en una etapa de “cambio climático peligroso”. Si se utiliza el gas shale para aportar el combustible necesario, que se podría obtener de otras fuentes menos contaminantes, se contribuiría con una concentración adicional de 311 ppm de CO₂ atmosférico para antes del año 2050 (En el año 2015, ya estamos en 400ppm).

Por otro lado, los estudios científicos realizados en el año 2011 bajo el liderazgo del profesor Stephen G. Osborn, de la Universidad de Duke, respecto al agua para tomar a menos de un kilómetro de distintos pozos en la región de explotación de gas shale, llamada Marcellus (en Pensilvania), al sur del estado de Nueva York, de un muestreo de 68 pozos en cinco condados en la zona gasera de gas shale, encontraron los siguientes resultados [285,286]: El agua para tomar, extraída en zonas dentro de un kilómetro de distancia de los pozos activos, mostraba contaminación por metano. El valor medio de la concentración en el agua era de 19.2 miligramos por litro (mg/L) y el máximo de 64mg/L; el valor medio puede potencialmente dar lugar a una explosión. El análisis isotópico del metano dentro del agua arrojó que de manera casi total provenía de los campos de gas shale y no de procesos de recientes de descomposición de materia orgánica. Osborn y su equipo recomiendan realizar estudios científicos de manera global antes de organizar la explotación de pozos de manera masiva. El estudio de simulación teórica del flujo de gas (no sólo hacia la tubería de recolección sino hacia la superficie después del

proceso de fracking), realizado por el investigador Tom Mayers [287], confirma los resultados experimentales obtenidos por el grupo de Osborn. Mayers llega a la conclusión de que el viaje del gas hacia la superficie antes del fracking tardaría del orden de decenas o centenas de miles de años, pero que después de dicho proceso de fragmentación de roca, tarda sólo algunos cuantos años en alcanzar la superficie, que es lo que Osborn encuentra experimentalmente [286].

De acuerdo con el profesor experto Gerrit van Tonder, del Institute for Groundwater Studies at University of the Free State, en Sudáfrica [286], quien antes de abril del 2012 asesoró a la Shell en el campo potencial de gas shale en Karoo, Sudáfrica, cambió su análisis al conocer el trabajo de su amigo Tom Mayers; y al buscar información de minería relacionada al flujo de contaminantes, encontró que cuando existen condiciones de terreno fracturado en el subsuelo de manera natural o artificial, el flujo de los contaminantes desde las profundidades hacia la superficie puede ser muy rápido. En particular hace notar que en un trabajo de perforación a 4,000 metros de profundidad, el líquido que se utilizó para facilitar la perforación (agua, cromo y sulfatos) se infiltró en las aguas para tomar (cercasas a la superficie), a 30 kilómetros de distancia en un lapso de 6 semanas [288]. Los vecinos se quejaban de la contaminación del agua cerca de los pozos de explotación del gas shale desde el año 2005 [289]. Según esta última fuente, la presencia de metano dentro del agua para beber puede causar problemas respiratorios en las personas hasta la asfixia. Además, se reportaron casos de explosiones en casas originadas en los sótanos de otras cercasas, esto debido a acumulación de gas metano filtrado de grietas causadas por el proceso de fracking utilizado al comienzo de la explotación de los pozos de gas. En las figuras 22.7a y 22.7b, puede observarse que el gas contenido por el agua al salir de una llave es suficiente para encender una llama. ¿Y aquí en México, que

tenemos escasez de agua, la vamos a utilizar para obtener gas shale y, encima, vamos a contaminar la escasa agua que nos quede?⁴ Por si fuera poco lo anterior, la perforación de cada pozo no sólo contamina sino que fragmenta y pone en peligro adicional a los ecosistemas cercanos, así como a las especies silvestres en riesgo de desaparición debido a los daños causados por el elevado número de viajes de camión requeridos y los caminos asociados [290]. Cuatro son los impactos directos en los ecosistemas:

1. Fragmentación de los ecosistemas que puede llevar a la extinción a especies que requieren territorios grandes para existir.
2. Contaminación de acuíferos naturales utilizados por las especies silvestres y reducción crítica de caudales en zonas con esfuerzo hídrico.
3. Transferencia potencial de especies invasivas que trasloquen los ecosistemas originales.
4. Uso privado y pérdida de parques y santuarios nacionales de vida silvestre.

¿Cuáles son las reacciones de algunos pueblos con poca agua ante la explotación local de gas shale? En Sudáfrica reside la quinta reserva más grande de gas shale del mundo [291], el debate acerca de dicho recurso se refiere, entre otras cosas, al uso del agua para realizar el fracturamiento hidráulico de los pozos de gas shale, el cual ha desatado una protesta masiva contra un grupo de empresas que incluye a Royal Dutch, Shell, y South Africa SASOL, quienes han obtenido concesiones de gigantescas cantidades de terreno para la explotación del gas shale en un campo localizado en la zona

⁴¿Nuestra gente se quedará sin agua para tomarla en beneficio de extranjeros?

semi-desértica de Karoo, hogar de la tribu Kohosian y poseedor de una región única en cuanto a biodiversidad. El temor de los pueblos locales es quedarse sin agua para sobrevivir, que se contaminen los suelos y las aguas sobrantes, y que se destruyan los ecosistemas locales. “La Shell ha dejado claro que ellos sólo considerarán realizar alguna compensación si los supuestos afectados pueden probar que los daños provienen de sus pozos. Piense en que los que allí viven son pobres. ¿Cómo lograrán tener justicia aquí en la Tierra?” [292].

Karoo proviene de una palabra Khoisan que significa “tierra sedienta”, dice Lewis Pugh, fundador del grupo de apoyo a la comunidad indígena llamado “El tesoro de Karoo”. Y afirma que aun cuando los químicos fueran seguros, que no lo son, no existe agua suficiente para usos extras. El agua se va a convertir en una fuente de conflicto. ¿Ustedes piensan que los granjeros de Karoo van a permitirle a Shell que haga su proyecto realidad y les destruya sus granjas? Ellos van a tomar sus rifles.

Lo anterior en esta sección ha sido para analizar casi únicamente el asunto del gas shale, pero ¿qué pasa con el aceite obtenido de dicha roca de esquisto? ¿Cuánto oil shale produce EUA, y cuánto representa de su consumo diario? En el 2004, en EUA se produjeron 111,000 barriles por día, para el 2011 se llegó a 553,000 barriles por día. Con una rapidez de crecimiento anual de aproximadamente del 26 % [293].

En resumen: la densidad energética de este material es de un sexto del carbón, la extracción a gran escala en los yacimientos de EUA requeriría de enormes cantidades de agua en zonas áridas, contaminaría mucho los ecosistemas bajo y sobre el suelo a través de la contaminación de los mantos acuíferos. El *EROI* calculado para esta fuente es de 1.5 a 4.0. La energía neta obtenible es menor que para el caso de las arenas bituminosas.



Figura 22.7: Localización del Campo Marcellus en el noreste de los Estados Unidos. Los puntos indican la localización de los pozos que se taladraron de julio de 2009 a junio del 2010. Se taladraron 4064 pozos en Pennsylvania, 48 en New York y 1421 en Virginia del Este. Datos tomados de la referencia [287].

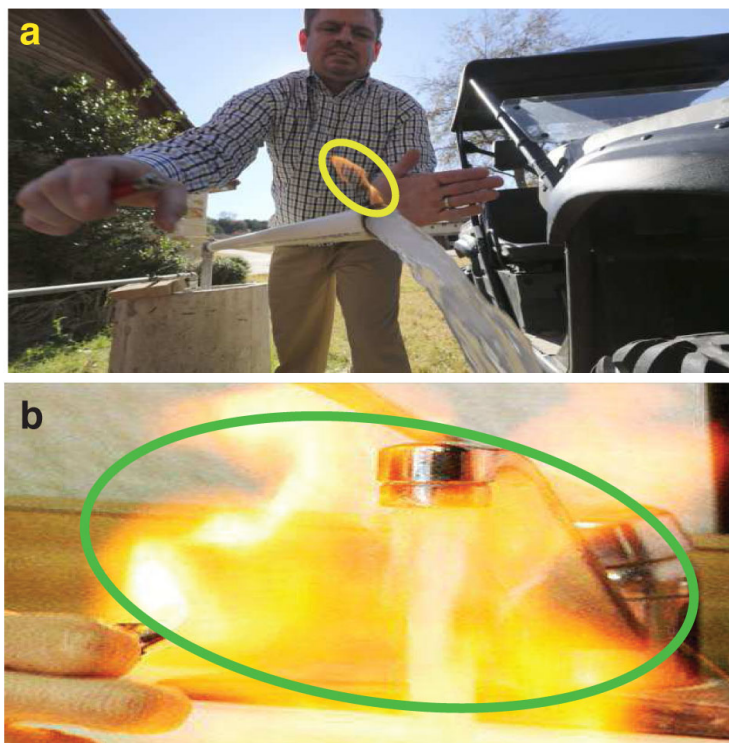


Figura 22.8: Gas contenido en el agua es suficiente para encender una flama.

Capítulo 23

Modelo de Ganancia Energética Invertida para el caso de Combustibles de diferentes $EROI's$

A continuación presentaremos unos cálculos numéricos en relación con la energía neta, E_{Net} , y el $EROI$ de la humanidad que ha llegado al límite máximo en la producción diaria de hidrocarburos usuales (petróleo y gas natural), como se llegó en el año 2005, y suponiendo que debido a las imprecisiones se mantuvo más o menos constante hasta el año 2009, y considerando la realidad de que disminuye a un ritmo de 4% anual. Para el caso en que sólo se explotara de forma masiva una fuente de energéticos ligada a hidrocarburos no convencionales como arenas bituminosas o aceite o gas de esquisto (shale gas, shale oil) con $EROI=3$, ¿qué pasaría con el $EROI_{Mix}$ respecto al $EROI$ de los hidrocarburos convencionales de 11; y qué pasaría con la energía neta, E_{Net} disponible

para la humanidad suponiendo que la población se mantuviera constante, y que tratáramos de mantener constante la energía total (E_{Out}) utilizada por año?

Es claro que para realizar las evaluaciones correspondientes utilizaríamos las ecuaciones (12.13) y (12.6), a saber:

$$E_{Net} = E_{Out} - E_{In} \quad E_{Net} = E_{Out} \left(1 - \frac{1}{EROI} \right) \quad (23.1)$$

Si tenemos los dos tipos de fuentes energéticas antes mencionadas, entonces la $EROI_{Mix}$ vendría dada por:

$$EROI_{Mix} = \frac{EROI_1 + EROI_2 \frac{\dot{e}_2(t)}{\dot{e}_1(t)}}{1 + \frac{\dot{e}_2(t)}{\dot{e}_1(t)}} \quad (23.2)$$

Donde $EROI_1$ y $EROI_2$ son respectivamente los valores de $EROI$ para los hidrocarburos usuales (valor $EROI_1$ de 11), y para los hidrocarburos no convencionales como arenas bituminosas o aceite o gas de esquisto (shale gas, shale oil) con un valor de $EROI_2$ de 3; y los símbolos $\dot{e}_2(t)$ y $\dot{e}_1(t)$ denotan la rapidez de consumo de energía anual de la fuente 1 y 2 respectivamente.

Entonces, con base en lo afirmado previamente respecto a la rapidez de disminución en $\dot{e}_1(t)$ con el tiempo, si los cálculos los comenzamos a partir del año 2009, pasado el tiempo de producción máxima es inmediato demostrar de la ecuación (1) que:

$$\dot{e}_1(t) = \dot{e}_1(t_0) - \alpha(t - t_0) \quad (23.3)$$

Donde t es el tiempo medido en años y t_0 es el tiempo a partir del cual comienza a disminuir la rapidez de producción del recurso energético 1. A su vez, α representa la tasa de disminución anual en la producción (para cada ciclo temporal de un año), tiene un valor de 4 % del valor del $\dot{e}_1(t)$ en cada año. Cuando utilizamos los valores numéricos antes mencionados es posible construir las siguientes gráficas:

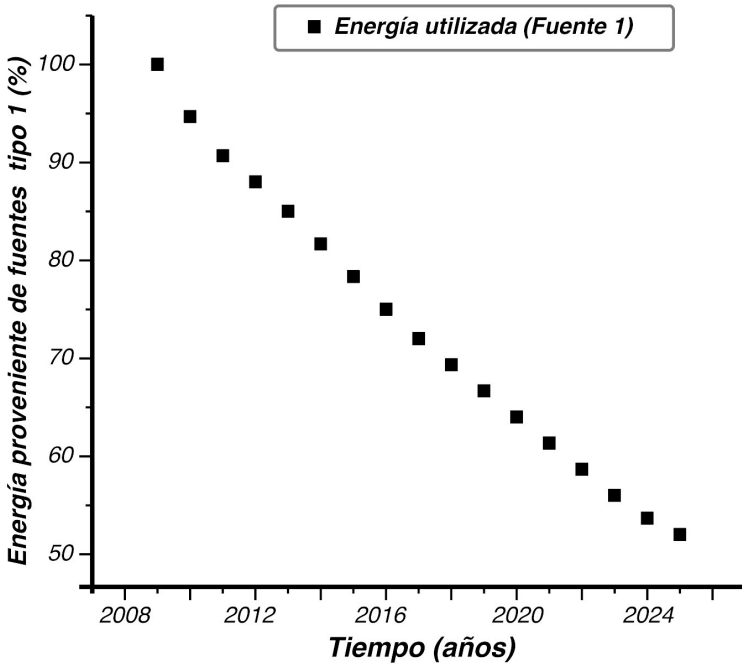


Figura 23.1: Disminución del porcentaje energético tipo 1 como función del tiempo.

De las tres gráficas anteriores, se muestra que si a partir del año 2009, no se implementan políticas para el desarrollo de fuentes energéticas no fósiles, el *EROI* de la Humanidad respecto a las fuentes energéticas, Fig. (23.2), irá disminuyendo de forma lineal con el tiempo, entre 2009 y el año 2024, de un valor de 11 a 7. Esto conllevará a un decaimiento general de las bases económicas de la Humanidad de su nivel medio de vida, que de por sí ya es precario para la mayoría de la población. Lo anterior dificultará de manera creciente la posibilidad real de desarrollar de forma masiva una fuente de energía limpia, como lo es la energía geotérmica de roca seca, las cual es sin duda la solución a largo plazo. Tenemos el tiempo en contra, cada segundo que transcurre significa

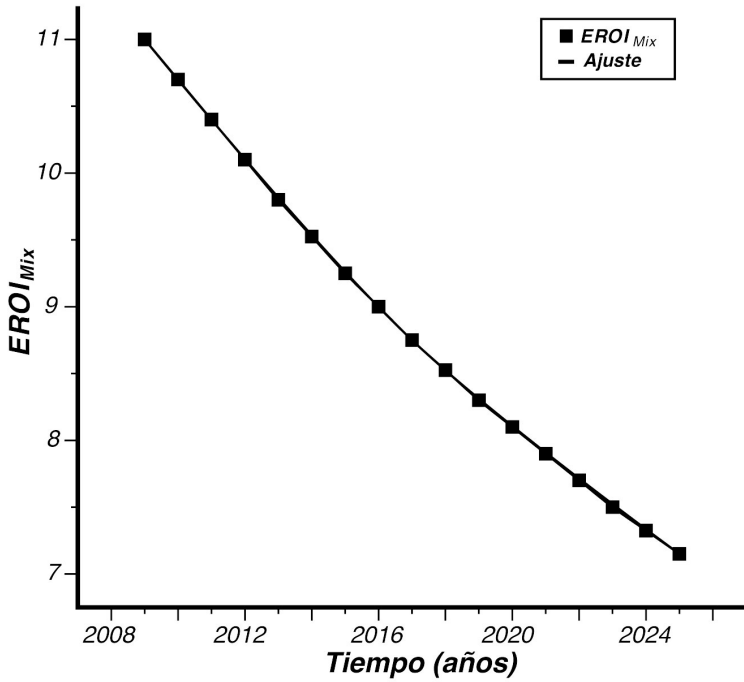


Figura 23.2: Disminución del $EROI$ promedio para la Humanidad en función del tiempo.

miles de muertes a mediano plazo y eventualmente la muerte de miles de millones de seres humanos.

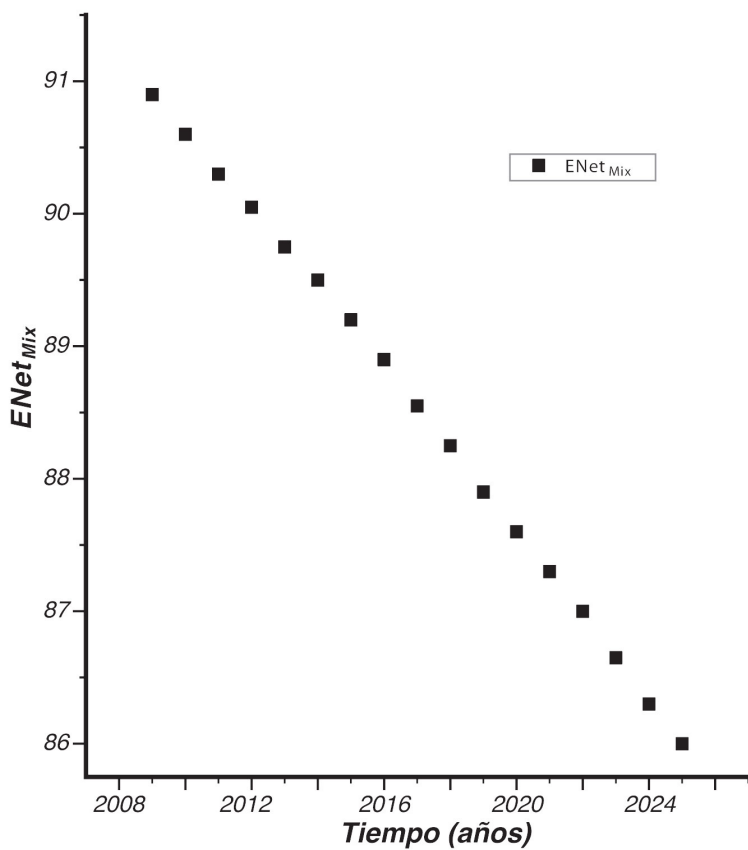


Figura 23.3: Disminución porcentual de la Energía Neta para la Humanidad a partir del 2009, después de haber llegado al pico del petróleo en 2005.

Capítulo 24

Energía de las Mareas y Ondas Marinas

24.1. Energía de las mareas Introducción

La energía de movimiento causado por las mareas tiene su origen fundamental en las pequeñas variaciones de las fuerzas de atracción gravitacional entre la Tierra y la Luna; dichas variaciones mueven las aguas de los océanos hacia arriba y hacia abajo, según se acerquen o se alejen los cuerpos celestes. Estas mareas, en promedio, son más grandes que las producidas por la interacción entre la Tierra y el Sol, que son de la mitad de intensidad de las anteriores. Las mareas tienen un carácter periódico de ritmo temporal y altura, controlado de manera importante por los movimientos de la Luna sobre su órbita alrededor de la Tierra. En su movimiento, la Luna produce sobre la superficie de la Tierra dos lomas de marea, una en la cara de la Tierra más cercana a ella y otra en la cara más lejana; esos dos chipotes de marea tienen su máximo en la línea que une los centros de dichos cuerpos celestes. El

chipote de marea cercano a la Luna ocurre por el incremento en la fuerza de atracción gravitacional de la Luna hacia la masa de agua cercana; y lo mismo ocurre del lado opuesto, al disminuir la fuerza de atracción entre la masa de agua y la Luna que para dicho volumen está más lejos de lo usual.

Considerando lo anterior y el hecho de que la Tierra gira sobre su eje una vuelta completa en 24 horas, podemos decir que cada punto de la superficie de la Tierra experimenta dos crestas de marea y dos valles de marea durante cada ciclo de marea. La Luna viaja en órbita alrededor de la Tierra y una revolución le toma 27 días, la diferencia de velocidades de rotación entre la Tierra y la Luna añade 50 minutos al ciclo de mareas respecto a la duración del día terrestre.

Cada 14-15 días durante las lunas llenas o lunas nuevas ocurren las mareas más altas, y las más bajas al alinearse temporalmente el Sol, la Tierra y la Luna (Véase la Figura 24.1). Las mareas diarias con menor variación de altura ocurren cuando se presenta el primer y el último cuarto de Luna (Véase la Figura 24.2). Las relaciones geométricas entre el Sol y la Luna y los sitios de la superficie de la Tierra donde ocurren las mareas dan lugar a tres tipos distintos de ellas [294]. Las mareas que tienen una marea baja y una alta dentro de un ciclo de mareas (24 horas con 50 minutos) se denominan mareas diurnas, ocurren, por ejemplo, en el norte del golfo de México y en el sureste asiático. Las mareas semi-diurnas tienen dos mareas altas y dos bajas por período de 24 horas con 50 minutos; son comunes en las costas atlánticas de EUA y Europa. Muchas partes de las costas en el mundo experimentan mareas de tipo mixto en las cuales las mareas altas y bajas difieren entre sí de ciclo a ciclo de manera apreciable. En estas mareas se tienen mareas altas-altas y mareas bajas-altas (de la misma manera en que ocurren mareas altas de baja marea y mareas bajas de baja marea). Estas mareas ocurren en las costas este de Canadá, EUA y México. En la

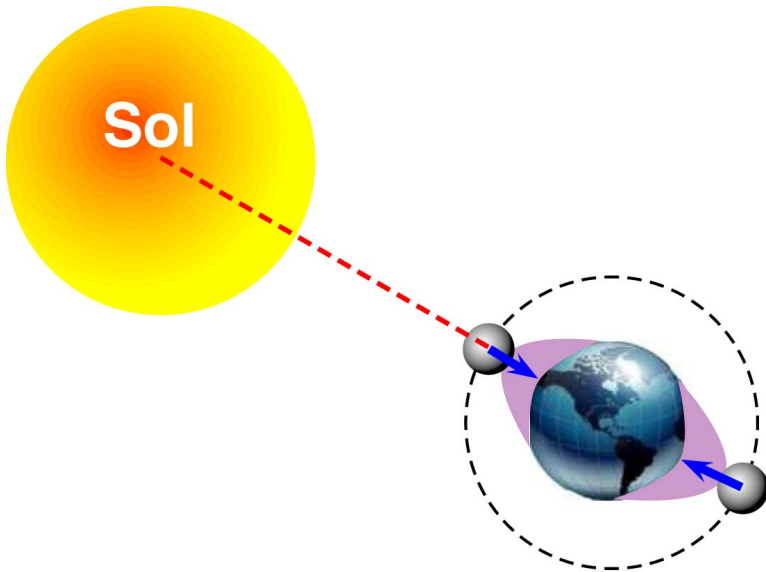


Figura 24.1: Representación esquemática de la alineación que ocurre entre el Sol, la Luna y la Tierra cada 14-15 días. El esquema no está a escala.

figura siguiente presentamos un esquema de la distribución aproximada sobre el globo terráqueo de los tres tipos de mareas. Una gran ventaja de la energía de las mareas dentro de un esquema renovable es que, por su carácter gravitacional, se puede considerar prácticamente de duración infinita; es muy constante y predecible. La energía de las mareas se puede aprovechar para producir energía eléctrica de dos formas:

1. Mediante la construcción de presas, en estuarios, que almacenen agua durante el crecimiento de la marea y que aprovechan la energía gravitacional del agua así almacenada, como lo hace una hidroeléctrica convencional.
2. Mediante la operación de diversas máquinas (por ejemplo, turbinas) que trabajen debajo de la superficie del

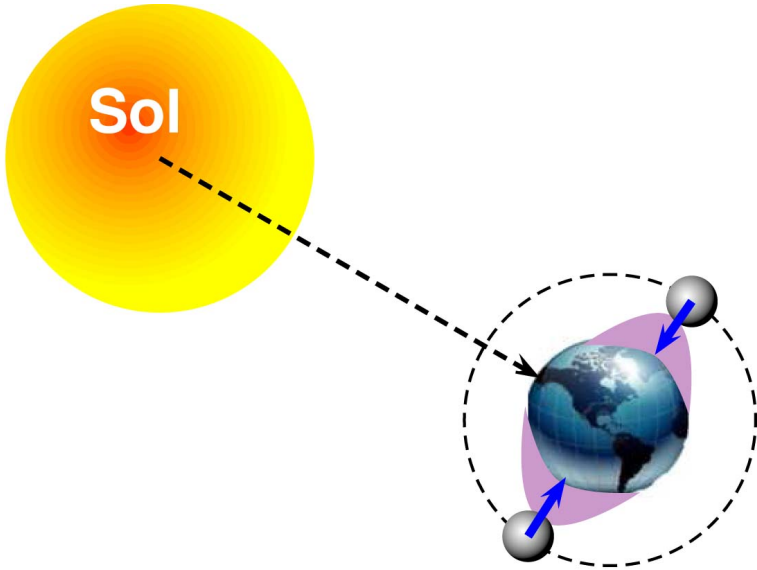


Figura 24.2: Representación esquemática de las mareas que ocurren en cuarto creciente y cuarto menguante. El esquema no está a escala.

agua para aprovechar la energía del movimiento de la misma y producir electricidad, durante el movimiento de la marea al subir o bajar la mar por causa de las atracciones gravitacionales antes mencionadas [295]. Las turbinas sumergibles tienen la ventaja respecto a las turbinas que aprovechan la potencia del viento, de que el agua es 800 veces más densa que el aire lo cual permite aprovechar mucha potencia con poca velocidad del fluido y radios menores en los álabes de las turbinas; y sólo requiere un diseño mucho más fuerte que en el caso eólico, pues el medio que causa el giro es muy denso.

Relacionado al número 2 se tiene la siguiente posibilidad:

3. Instalar turbinas en el cauce de ríos de baja caída por

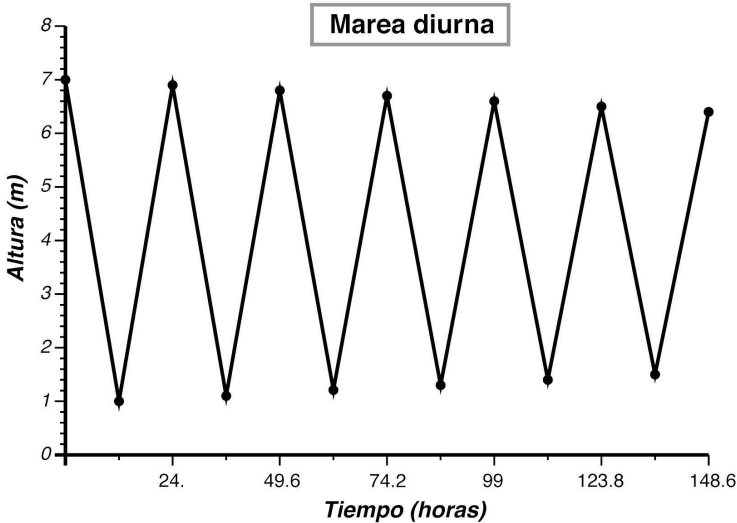


Figura 24.3: Amplitud de las mareas diurnas como función de tiempo, en zonas de grandes mareas, no es el caso general de México. Tomada de [294].

metro, pero que tienen un flujo constante importante. Una limitación de los sistemas de potencia basados en la energía de las mareas es que no producen energía las 24 horas del día. Los diseños convencionales, en cualquier modo de operación, pueden producir potencia por 6 o 12 horas dentro de cada 24 horas en función de la ocurrencia local de las mareas y no producirán potencia en otros momentos; esta intermitencia aumenta mucho los costos, y disminuye el valor del *EROI*.

Existen, además, variantes del aprovechamiento de la potencia de las mareas mediante presas como las plantas de potencia de marea de tipo cerca (Tidal Fence Power Plant) y las plantas de tipo arrecife artificial (Tidal Reef Plant). La planta de tipo cerca consta de varios grupos de turbinas sumergidas dentro de estructuras que les dan soporte y permiten el paso

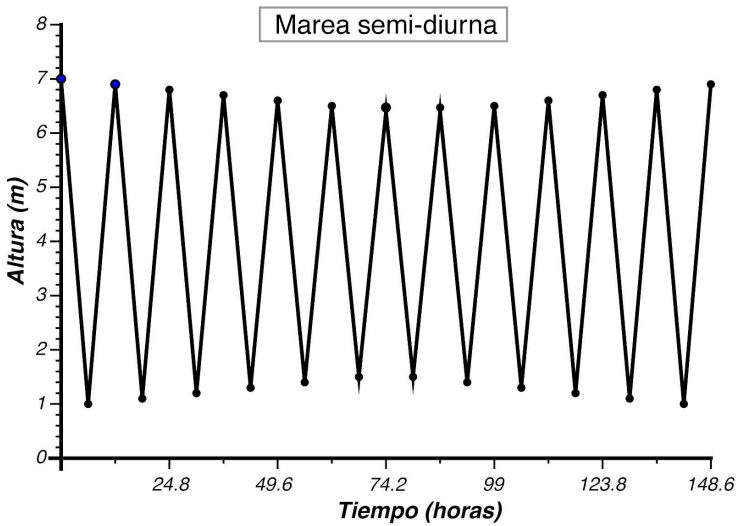


Figura 24.4: Variación de la amplitud de las mareas semi-diurnas como función de tiempo. Características de zonas del planeta donde ocurren grandes mareas, no es el caso general de México. Tomada de [294].

de barcos por ciertos canales. Las plantas de tipo arrecife artificial son un caso intermedio entre las plantas de potencia de tipo presa y las de tipo cerca. Consisten en construir una represa que sólo atrape una columna de dos metros de alto de agua en las mareas altas y permite generar potencia tanto al ingreso del agua con la marea como a su regreso al mar; y también tiene un canal para el paso de barcos.

24.2. Presas de marea

Las presas para mareas son más caras que las presas normales construidas en los ríos, e igual que éstas, afectan fuertemente los ecosistemas en donde se construyen. Tienen bajo factor de capacidad y no pueden ayudar en los momentos de

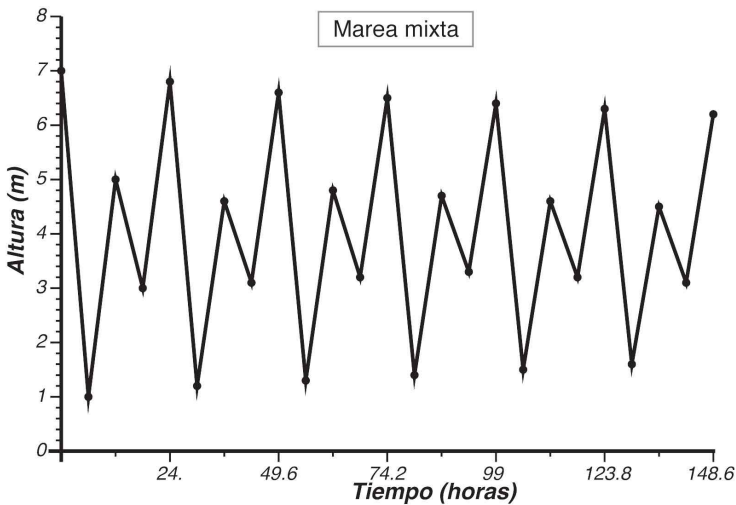


Figura 24.5: Variación de la amplitud de las mareas mixtas como función del tiempo. Características de zonas del planeta donde ocurren grandes mareas, no es el caso general de México tomada de [294].

mayor demanda debido a los períodos de las mareas de 12 horas 50 minutos, que están dictados por la naturaleza temporal del sistema gravitacional Sol-Luna-Tierra.

En el mundo existen dos grandes plantas de producción eléctrica que funcionan mediante la potencia de las mareas, las dos casi tienen la misma capacidad. La de mayor potencia instalada (245 MW) es la del lago de Sihwa en Corea del Sur, puesta en operación a comienzos del 2012; la segunda más grande en el mundo (primera construida para uso comercial en el año de 1966), está en el estuario La Rance en el norte de Francia, tiene una capacidad de 240 MW.

La primera en capacidad es la de Lago Sihwa, en Corea del Sur. Su capacidad máxima es de 245 MW, y su producción anual de energía es 552.7 GWh [296]; el costo del proyecto a fines de 1994 fue evaluado en 282.15 millones de dólares

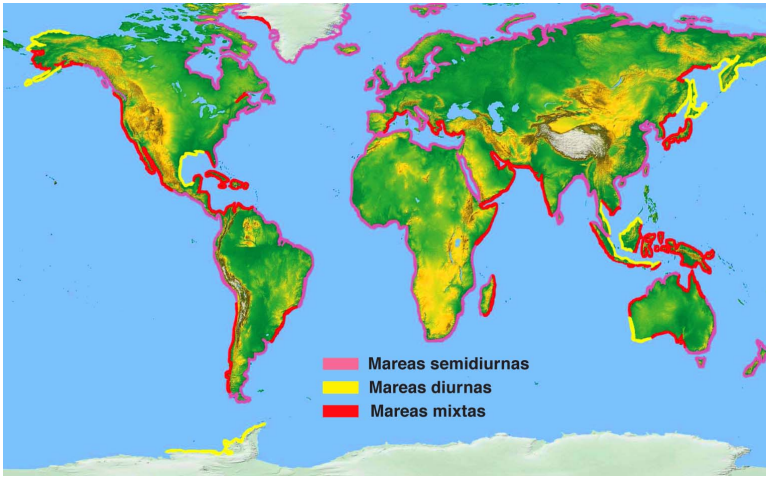


Figura 24.6: Distribución de los tres tipos de mareas en las costas del mundo. Tomada de [294].

[297]; a la puesta en operación a principios del 2012 su costo real fue de 487.1 millones de dólares, con lo cual es inmediato que el costo de inversión en millones de dólares por Megawatt instalado es de 1.988. El valor medio de operación respecto a las mareas es de 5.6 metros, con un valor en primavera de 7.8 metros; opera con 10 turbinas de tipo bulbo, de 7.5 metros de diámetro, con una potencia de 25.4 MW cada una, que sólo operan durante el flujo de entrada de agua, ello para cuidar en lo posible los ecosistemas [298]. Venas detalles de la turbina en la Figura (24.7). El área del embalse es de 56.5 km² de área, la producción de energía eléctrica de dicha instalación (que tiene un dique de 12.7 kilómetros de longitud) ahorra anualmente 862,000 barriles de petróleo [299]. La capacidad instalada en Sihwa representa el 0.4 % de la capacidad eléctrica total en Corea del Sur; y suministra la energía eléctrica que cubre las necesidades de 500,000 casas. El volumen activo de agua utilizado para la generación de energía eléctrica en el embalse, entre el nivel mínimo de control y

el nivel medio, es de 80 millones de metros cúbicos; con un tiempo disponible para generación aproximado de entre 4 y 4 horas y media (factor de capacidad de 18.75 %) [300]. De acuerdo con el gobierno de Corea del Sur, la planta de Sihwa es la más pequeña de las planeadas, pues la costa este de dicho país tiene un potencial gigantesco en materia de energía de mareas, mismo que está limitado por cuestiones ambientales y problemas de afectación a ecosistemas [301]. Sin embargo, un estudio académico reciente limita a cinco instalaciones futuras de energía de mareas mediante presas en Corea del Sur, que da un total de 3.7 GW [302]. En el caso de la planta de Sihwa, las turbinas fueron diseñadas con características que las hacen amigables con los peces, permitiendo su uso con baja diferencia de altura de la columna de agua, y a la vez un gran volumen de agua por unidad de tiempo. La velocidad de rotación del eje de las turbinas es de 63 ciclos por minuto y ellas tienen tres hojas. Y específicamente, para asegurar la supervivencia de los peces que migran, se tomó en cuenta lo siguiente:

- Se minimizó la rapidez de caída de presión y de velocidad a través de las turbinas.
- Se minimizó la rapidez de rotación de las turbinas.
- Se minimizó el número de hojas de las turbinas.
- Se minimizó el número de obstrucciones en el paso del agua.
- Se maximizó el tamaño y la eficiencia de las turbinas para evitar las turbulencias a lo largo del paso del agua [300].

A diferencia de la planta Sihwa, las plantas previas de cortina causan una apreciable mortandad de peces durante su

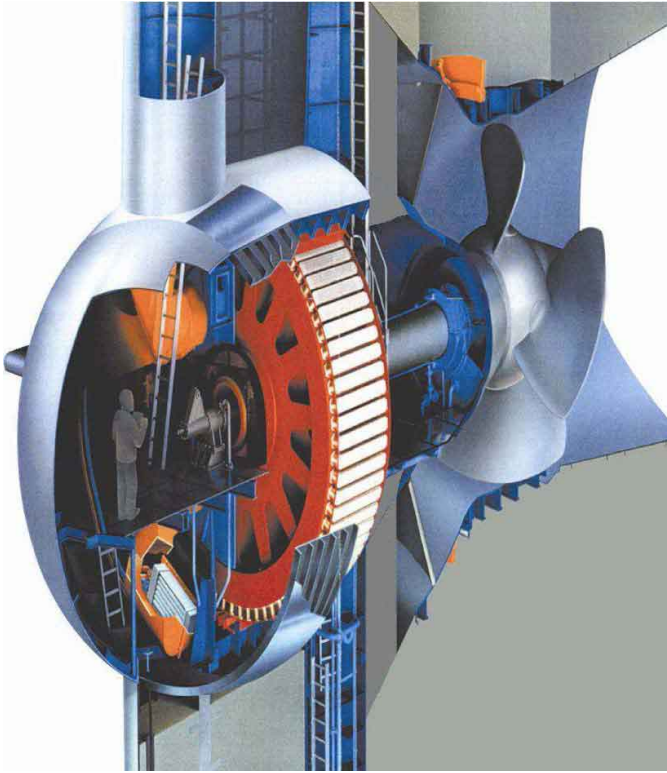


Figura 24.7: Sección transversal del arreglo donde están colocadas las turbinas de la planta de Sihwa (tomada de la referencia [299]).

operación, debido al número elevado de hojas de las turbinas, su alta frecuencia de giro y las grandes diferencias de presión entre la parte del frente de la turbina y la parte posterior, de acuerdo con la referencia [296], entre el 20 % y el 80 % de los peces que pasan a través de dichas turbinas mueren.

La estructura total de La Rance, construida en 1966, vease Figura (24.8), con una capacidad de 240 MW, un factor de planta de 40 % y un promedio de operación de 14.2 horas diarias, le permite generar anualmente 500 GWh mediante

la utilización de 24 turbinas de tipo de bulbo, cada una con un diámetro de 5.3 metros y una potencia individual de 10 MW. La porción de la cortina en donde reside la planta de generación eléctrica es de 332 metros; el área del embalse es de 22.5 km² [298]. El sitio es muy atractivo por cuanto el intervalo medio entre los niveles bajos y altos de la marea es de 8 metros, con un máximo en equinoccio de 13.5 metros. La energía de mareas por presa de cortina es una de las más baratas formas de generar energía eléctrica en Francia, con un costo de 3.7 centavos de dólar por kilowatt/hora. Cuando las plantas nucleares lo hacen a 3.8 centavos y las plantas térmicas lo proveen a un costo de 10.5 centavos; sólo las plantas hidroeléctricas con un precio de 3.2 centavos son más eficientes (precios de fines de 1998) [298]. En la Figura (24.8) se puede observar una parte de la cortina de la planta de La Rance. En China y Rusia se tienen también plantas experimentales; en la de Rusia (de 400 kW de capacidad) se estudian, desde 1968, los efectos de ese tipo de plantas en los ecosistemas del estuario correspondiente.

De acuerdo con los investigadores Pelc y Fujita [303], así como los estuarios sirven de criadero de multitud de organismos marinos, también constituyen un hábitat irremplazable para organismos característicos de los estuarios; por tanto, la alteración de estos hábitats por las construcciones de grandes plantas energéticas de mareas deben ser evitadas; además, deben realizarse los estudios de impacto potencial que causarían las obras hacia los ecosistemas. Los investigadores hacen notar que durante la construcción de la planta de La Rance, el estuario correspondiente fue cerrado a su interacción con el mar por un período de 2 años y medio. Después de un largo período se logró un nuevo equilibrio en el ecosistema local. La obra causó cambios al reducir el área de la región de cambio por mareas, disminuir las velocidades de las corrientes, reducir el intervalo de salinidades, y cambió las características del

agua del fondo; todo ello dio lugar a cambios en la comunidad marina local. Para 1976, el estuario de La Rance había logrado alcanzar un nuevo equilibrio como ecosistema diversificado y la vida acuática florecía de nuevo, adaptado a la presencia y operación de la planta de generación de energía [298]. Las



Figura 24.8: Foto del estuario de Rance. Tomada de la referencia [299]).

cercas de turbinas de mareas son arreglos que permiten el tránsito de barcos por las regiones de un estuario donde no existe la cerca de turbinas (o en inglés tidal fences), este sistema es muy amigable con las distintas formas de vida oceánica (véase la Figura 24.9), se considera que con enrejados frente a las mismas se evita que animales marinos grandes como las focas o delfines choquen con las turbinas, y que el diseño de las turbinas también debe dejar un espacio libre entre las hojas rotatorias y la carcasa de la turbina y que, asimismo, las turbinas deberán girar a bajas revoluciones (25 a 50 rpm) para mantener la muerte de peces al mínimo desde la perspectiva de salvaguardia de los ecosistemas correspondientes

[303]. El proyecto más ambicioso a nivel mundial de cercas



Figura 24.9: Representación grafica de una sección de una de Cerca de Marea. Tomada de la referencia [304].

de turbinas es el que se ha propuesto para el estuario de Severn, en Inglaterra, por parte del Departamento de Energía y Cambio Climático del gobierno de UK; las labores de evaluación acerca de la factibilidad técnica, costos e impactos a los ecosistemas, comenzaron en abril del 2009 [304].

En la Figura (24.10) se muestran los resultados cualitativos de diversos estudios destacando la potencia obtenida como función del tipo de instalación y su relación con el grado de afectación a los ecosistemas. Existen diferentes propuestas, una de ellas, descrita en la referencia [306], propone una cortina que abarque desde Lavernock Point, cerca de Cardiff, hasta Down, cerca del Weston-super-Mare (Véase Figura 24.11). Tendría una longitud de 9 kilómetros, con dos bloques de turbinas, uno de 168 y otro de 48, una capacidad de 1.3 GW cubriría el 5 % de las necesidades de energías renovables de UK (alrededor del 1 %) y costaría 15,000 millones de libras

ESPECTRO DE PLANTAS DE POTENCIA DE MAREAS

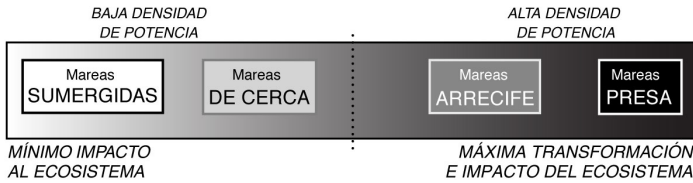


Figura 24.10: Potencia de las diferentes opciones de plantas de marea como función de su daño a los ecosistemas de su entorno. Tomada de la referencia [305].

[304]. Lo anterior significa que el costo del MW eléctrico será de 17.9 millones de dólares/MW, un costo muy alto. Con otro proyecto [307], el Grupo Severn Tidal Power Group, para una planta tipo presa entre aproximadamente los mismos puntos antes citados (con longitud de cortina de 11 kilómetros), considera que se tendrían 8.6 GW de potencia instalada y una producción anual de 17 TWh/año; lo que indica 5.41 horas de trabajo por día (factor de capacidad o planta del 22.5%). Los datos anteriores sobre la producción eléctrica anual mediante potencia de mareas significan el 4.6% del total de producción eléctrica anual de UK, a un costo de 30,000 millones de libras, equivalente a 5.41 millones de dólares/MW, que sigue siendo alto aunque más bajo que el anterior. Esta situación pone de manifiesto lo limitado de la producción futura de potencia eléctrica, proveniente de mareas en Inglaterra y en el mundo, por cuanto el estuario de Severn tiene la segunda marea más alta del mundo, y alrededor del 90% de los recursos prácticos para obtener dicho tipo de energía en UK [308]. Se estima [304] que la construcción de dicho proyecto en el estuario de Severn requeriría de 2 años de diseño y cuatro de construcción, incluyendo la fabricación de las turbinas. Se esperaría una reducción del nivel máximo de la marea alta de 5 centímetros, lo que corresponde a menos del 0.5% de dismi-



Figura 24.11: Localización geográfica de la planta de cerca de mareas en el Estuario de Severn en Inglaterra. Tomada de la referencia [308].

nución porcentual. La velocidad pico de la marea disminuirá entre 0.1 y 0.15 metros por segundo (aproximadamente un 7% de disminución). Ello corresponderá a una disminución de entre 2 y 25 metros de penetración del agua (medida perpendicular a la línea de playa) dependiendo de la pendiente local en las mismas. Se considera que dichas disminuciones no son relevantes en cuanto a los ecosistemas se refiere [304].

En general, se va extendiendo la idea de que la mejor opción para aprovechar la energía de las mareas es la instalación de turbinas sumergidas en los lugares de gran flujo de agua, sin necesidad de construir cortinas y con escasa perturbación a los ecosistemas [303]. Un ejemplo reciente es el proyecto francés de la compañía electricidad de France, en conjunto con la compañía irlandesa Open Hydro, de comenzar una planta submarina formada por cuatro turbinas abiertas cada una de 16 metros de diámetro y una potencia de 2 MW, la cual deberá aportar el consumo eléctrico de 4,000 casas con un

costo de instalación de 56.5 millones de dólares [309] (Véase Figura 24.12). De acuerdo con Dina Spector (6 de septiembre del 2011), ésta es una buena noticia después de que un buen número de fabricantes de celdas solares subsidiadas por el gobierno de EUA, se han declarado en bancarrota. Los números anteriores implican 7.06 millones de dólares/MW, un poco más del costo de capital para el caso de las celdas solares, 4.5 a 5.5 millones de dólares/MW [310]. Es interesan-



Figura 24.12: Foto de las turbinas sumergibles del proyecto francés de la compañía Electricite de France y la compañía Irlandesa Open Hydro [311], que funcionaran a una profundidad de 35 m. Una vez colocadas en su lugar, la estructura tendra 22m de alto y pesara 850 toneladas [312]. Las turbinas girarán a a 12 revoluciones por minuto y no producirán turbulencias, por lo que se espera no causen daño a los peces que las atraviesen durante su operación.

te hacer notar que dicha idea ha sido propuesta, incluso, para probarse en cauces de ríos permanentes como el Mississippi [314]. La empresa Free Flow Power ha propuesto a la ciudad

de Massachusetts un proyecto a escala piloto para averiguar si se puede pasar de la escala laboratorio a experimentos in situ y finalmente, llegar a instalar desde S.t. Louis al Golfo de México, miles o cientos de pequeñas turbinas sumergibles dentro del río en los 59 sitios en que se estrecha su cauce, hasta alcanzar 1.6 GW, lo cual permitirá satisfacer las necesidades de electricidad de 1.5 millones de hogares. Se llegará a esta etapa sólo si la tecnología es más barata que la producción de electricidad por quema de gas.

Toda planta que aprovecha la energía de las mareas para producir electricidad toma en cuenta en su diseño que la potencia hidrocínética de las mareas proviene de la conversión de la energía cinética del agua en movimiento a electricidad; y que dicha transformación depende del área interceptada por el aparato o artilugio (un área circular, en el caso de una turbina con eje de giro horizontal, o un área rectangular, en el caso de una turbina con eje de rotación vertical), del cubo de la velocidad del agua, y de la eficiencia con la cual el aparato o planta extrae la potencia del agua en movimiento y la convierte en electricidad. Matemáticamente, lo anterior se puede describir como sigue:

$$P = \frac{1}{2} \rho U^3 A \eta \quad (24.1)$$

Donde P es la potencia eléctrica generada por la turbina, ρ es la densidad del agua de mar (usualmente $1,024 \text{ kg/m}^3$), U es la velocidad de la corriente de agua, A es el área interceptada por las aspas o álabes que giran, y η es la eficiencia con la que opera el aparato para transformar el movimiento del agua en electricidad (entre 85 % y 90 %). Véase la referencia [313].

24.3. Energía de ondas marinas

El potencial estimado a nivel mundial es de 2 TW, distribuido fundamentalmente en las costas del oeste de Europa, suroeste de África y Australia. Este tipo de energía fluctúa diariamente y con los cambios estacionales, ya que los vientos son más fuertes en invierno, lo cual hace que sea una fuente intermitente y de escasa importancia en cuanto a las magnitudes de potencia requeridas a nivel mundial [147].

Capítulo 25

Energía de Hidratos de Metano

Los hidratos de metano consisten en gas metano atrapado dentro de estructuras cristalinas de agua congelada; no existen propiamente burbujas de gas pues éste se encuentra disuelto a nivel molecular. Bajo condiciones normales de presión y temperatura cada kilogramo de hidrato de metano contiene 168 litros de gas metano. El origen de dicho gas viene de procesos de descomposición de materia orgánica muerta atrapada en capas de tierra, causada por la acción de microorganismos, los cuales se producen a temperaturas y presiones relativamente altas. Los procesos de descomposición biológica que dan lugar a la producción de gas metano ocurren por debajo de las zonas de agua congelada en los fondos marinos, y el gas producido viaja lentamente hacia la superficie atrapándose en tiempos geológicos en las zonas de agua congelada, lo cual da lugar a la formación de los hidratos de metano. La primera vez que se descubrió dicho recurso energético fue en el fondo del Mar Negro en 1971. Los hidratos de metano están ampliamente distribuidos por todos los mares del mundo, se encuentran en áreas de placas continentales, a profundidades

entre 500 m y 1000 m bajo el nivel del mar. El método más socorrido del proceso de extracción es el llamado de recuperación térmica. En este método, se perfora hasta encontrar una capa formada por hidratos de metano, luego se inyecta un fluido caliente como agua o vapor para fundir el hielo que contiene el metano. Se separa el gas del fluido y el gas se colecta y comprime para almacenarlo en un tanque en la superficie [314].

De acuerdo con la Administración de información sobre Energía de EUA (US-EIA) [315], los hidratos de metano representan la mayor reserva de combustibles a base carbón del mundo, incluyendo carbón mineral, petróleo, y otras formas de gas natural combinadas. La estimación del total de hidratos de metano a nivel mundial varía entre 10,000 billones latinos de pies cúbicos a más de 100,000 billones latinos de pies cúbicos de gas natural. Explotar dichos recursos según la EIA requiere tanto significativos esfuerzos de investigación como mejoras tecnológicas. El Departamento de Energía de EUA ha seleccionado 14 proyectos de investigación sobre hidratos de metano para recibir fondos federales. Recientemente, en la costa norte de Alaska, se han llevado a cabo experimentos de explotación estable de gas natural a partir de hidratos de metano. A pesar de la gran abundancia de este potencial energético, el gobierno de EUA no ha ofrecido incentivos económicos para incentivar el desarrollo de dicho recurso y a la fecha, no se han puesto en marcha tecnologías a escala no-comercial. La agencia ya mencionada afirma que los hidratos de metano proporcionan más problemas que soluciones.

Según el Washington Post, en marzo del 2103 [316], las razones fundamentales que dificultan la explotación comercial del recurso son que se encuentra a mucha profundidad bajo la superficie del mar y que los yacimientos se encuentran en condiciones de baja temperatura, lo cual hace que la aplicación de las técnicas correspondientes para su extrac-

ción elevan los precios del gas metano, muy por encima de los precios comerciales del gas natural obtenido por medios convencionales. En el período de 1751 a 1900 se liberaron 12

Distribución del Carbono Orgánico en el Planeta Tierra (en Gigatoneladas).

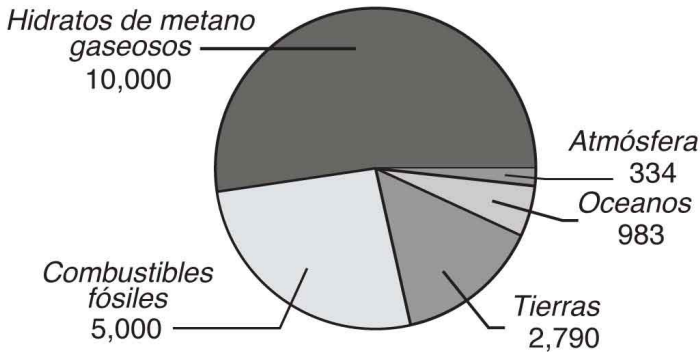


Figura 25.1: Distribución de Carbono en el planeta Tierra. Datos de la referencia [316].

Gigatoneladas¹ de dióxido de carbono en la atmósfera debido a la quema de combustibles fósiles, mientras, debido a quema de este tipo de combustibles desde 1901 hasta 2008, esa cantidad aumentó hasta alcanzar 334 Gigatoneladas (27 veces mas).

El 12 de marzo del 2013, Japón confirmó que por primera vez en el mundo se había producido gas natural fuera de la costa, a partir de depósitos marinos de hidratos de metano. Según Yuji Morita, investigador del Instituto Japonés de Economía Energética de Japón, el éxito técnico inicial no garantiza la comercialización del proceso por cuanto no se tiene experiencia suficiente en los costos a largo plazo [317].

¹Miles de millones

Un estudio publicado en diciembre del 2011 en la revista Nature, encontró que si la temperatura de la superficie de la Tierra aumenta 7.5 grados Celsius, el permafrost de las regiones árticas se fundirá y liberará 380 Gigatoneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, lo cual causará un incremento adicional en la temperatura de la Tierra [317].

En julio del 2012, el investigador Bill Mc Kibben [318], escribió un artículo en la revista Rolling Stone, con el título: *“Calentamiento Global nuevas matemáticas aterradoras. Tres simples números que muestran la catástrofe global y que esclarecen quien es el enemigo real de la Humanidad”*. Los datos principales presentados en dicho trabajo son los siguientes: En junio de ese año se alcanzó la cifra de 327 meses consecutivos en los cuales la temperatura promedio de la superficie del planeta Tierra ha excedido el promedio del siglo XX. Las probabilidades de que ello ocurra al azar en un tiempo tan corto, sin una causa física que lo provoque, son de 3.7×10^{-99} , que corresponde a una billonésima de la probabilidad de encontrar un átomo específico en todo el Universo Observable que contiene 10^{78} – 10^{84} átomos, para los fines prácticos. Por otro lado, es aceptado por el panel intergubernamental del cambio climático, que el calentamiento global tiene su origen en la actividad colectiva de la humanidad.

El primer número con profundo significado es: 2 grados Celsius. Con el incremento de 0.8 grados Celsius respecto a la época preindustrial de hace 180 años: se están derritiendo los casquetes polares, los océanos son un 30 % más ácidos, lo cual afecta a todas las formas de vida marina, la atmósfera marina sobre los océanos cargan 5 % más de agua por unidad de volumen, ello aumenta la probabilidad de huracanes e inundaciones costeras más devastadoras que las ocurridas hasta el día de hoy. De acuerdo con Thomas Lovejoy, ex asesor en jefe de biodiversidad del Banco Mundial, *“si estamos viendo lo que estamos viendo que ocurre con un incremento*

de 0.8 grados Celsius, un incremento total de dos grados es simplemente demasiado”. De acuerdo con el climatólogo más prominente del planeta, el investigador de la NASA, James Hansen, la situación es aún peor: “El objetivo del que se ha hablado en las negociaciones internacionales para lograr no más de dos grados de calentamiento en realidad es una receta para un desastre a largo plazo”[318].

El segundo número de importancia fundamental es: 565 Gt (miles de millones) toneladas de dióxido de carbono atmosférico. Los científicos estimaban que la especie humana podría arrojar a la atmósfera, a *grosso modo*, 565 Gigatoneladas de dióxido de carbono en la atmósfera hacia el año 2050, y aún tener la esperanza razonable de estar por debajo de los dos grados del incremento de temperatura. De acuerdo con cálculos de modelos computacionales, aun cuando hoy dejáramos de quemar combustibles a base de carbón (y se detuviera el incremento de dióxido de carbono atmosférico), debido a la inercia de los procesos atmosféricos, la temperatura se incrementaría en otros 0.8 grados Celsius, lo cual daría un total de 1.6 grados Celsius; así que estamos peligrosamente cerca del límite de dos grados. En mayo del 2012, la Agencia Internacional de Energía publicó cifras sobre el incremento de dióxido de carbono atmosférico durante 2011 con un valor de 31.6 Gigatoneladas, lo que corresponde a un incremento anual de 3.2%. De seguir creciendo las emisiones a ese ritmo anual, habremos emitido nuestras 565 Gigatoneladas (miles de millones) de dióxido de carbono atmosférico en un plazo de 16 años [318]; 22 años antes de lo previsto. Según Faith Birol, economista en jefe de la Agencia Internacional de Energía [319]: “los patrones de la tendencia actual de consumo de energía de origen fósil apuntan hacia alcanzar 6 grados Celsius de incremento de temperatura respecto a la era preindustrial hacia el año 2100”. Se espera un incremento aproximadamente exponencial con el tiempo, con una

razón de crecimiento anual de 3.2 %, hasta alcanzar el valor de 6 grados Celsius en el año 2100. Según Faith Birol [317] *“este incremento significará vivir en un planeta enteramente distinto al que conocemos, para la especie humana será una catástrofe”*, y complementa Mc Kibben [318] la afirmación de Birol al rematar con *“habremos creado un planeta que parecerá salido de ciencia y ficción”*.

El tercer número significativo para la supervivencia de la humanidad es el de 2,795 Gigatoneladas de dióxido de carbono atmosférico. Este es el número más terrorífico, es el que corresponde al dióxido de carbono atmosférico que implicaría el quemar las reservas mundiales probadas de combustibles fósiles, reservas calculadas el año pasado en Londres por un equipo de analistas financieros. El punto fundamental es que dichas reservas aportan un número de 2,795, el cual es más grande que 565, aproximadamente cinco veces mayor, sin considerar los hidratos de metano, tenemos, pues, reservas cinco veces mayores al límite de seguridad climática que garantiza con una probabilidad de 4/5 la supervivencia de toda la humanidad actual. Si queremos sobrevivir debemos mantener bajo tierra el 80 % de las reservas totales de combustibles fósiles para evitar la catástrofe [318].

El problema actual es cómo hará la humanidad para obligar a los países y a las compañías que cuentan con dichos recursos como riqueza potencial en sus libros financieros. ¿Si alguna compañía o país tiene recursos energéticos fósiles que, por ejemplo, valgan 25 millones de millones de dólares, cómo los convencemos de que sólo exploten 5 millones de millones de dólares en fósiles y dejen su supuesta riqueza restante debajo de la superficie de la tierra? Veamos cómo actuó recientemente el gobierno de Canadá respecto a las arenas bituminosas de la provincia de Alberta.

Cuando recientemente el precio del petróleo subió lo suficiente como para hacer costeable económicamente la explota-

ción de arenas bituminosas, el gobierno canadiense cambió su posición respecto al Protocolo de Kyoto y se negó a reducir su contribución al incremento del dióxido de carbono atmosférico. De acuerdo con el climatólogo James Hansen, las reservas explotables económicamente de Alberta pueden aportar 240 Giga toneladas de dióxido de carbono (casi la mitad de la cantidad permisible para alcanzar el límite de 565 Giga toneladas). Y más de lo mismo para otros países y compañías, se impone la acción concertada de toda la población mundial para detener a tiempo la catástrofe poblacional y ecológica mundial que se avecina.

Los principales enemigos para la supervivencia de la humanidad, según Mc Kibben [318], son los intereses y el poderío militar detrás de las compañías petroleras mundiales, que privilegian la ganancia económica y que pueden llegar a los medios de comunicación con mensajes sistemáticos, directos e indirectos, que apoyan sus intereses de corto plazo; y asimismo, tienen suficiente capital para comprar las elecciones en casi cualquier lugar del planeta. Según este mismo autor [318], una encuesta nacional indicó que el 66 % de los ciudadanos de EUA estarían dispuestos a llegar a un acuerdo internacional para cortar en un 90 % las emisiones de dióxido de carbono atmosférico, y a cambiar su vida cotidiana en lo correspondiente para lograr dicha meta. Según Mc Kibben [318]: “La gente común está harta de que todos los ciudadanos de EUA tengan que pagar por deshacerse de su basura como ciudadanos y como empresarios; y que exista una industria privilegiada que no pague ni haga nada para detener la producción de su basura, el dióxido de carbono atmosférico que genera la industria de los combustibles fósiles en todo el planeta, y que con su conducta y poder, ponga en riesgo de extinción la vida humana en la Tierra”.



Figura 25.2: Fotografía del aspecto de los hidratos de metano en la mano enguantada de un operador [316].

Capítulo 26

Energía Geotérmica de Roca Caliente

La energía geotérmica tiene por origen el calor de la Tierra a profundidades grandes, puede ser explotada mediante la extracción de vapor o agua caliente mediante el uso de turbinas para generar electricidad. Este tipo de energía también puede ser extraída a partir de roca seca caliente a la cual se le inyecta agua a través de pozos artificiales especialmente contruidos de varios kilómetros de longitud. Es muy interesante que científicos como uno de los fundadores de la Termodinámica Lord Kelvin, en 1852, [320] llamó la atención acerca del uso del calor natural de la Tierra como posible fuente de potencia para la humanidad. Y, contrario a sus hábitos de trabajo, en este asunto no fue al fondo de las cosas y sólo se conformó con hacer la sugerencia. En 1901, Nikola Tesla mencionó también la posibilidad de aprovechar el calor de la Tierra para resolver el problema de incrementar la energía disponible para el hombre. Y en 1931, el mismo autor escribió un artículo para la revista *Everyday Science and Mechanics* titulado “Our Future Motive Power”, en el cual analizaba diversas alternativas a los combustibles fósiles para

obtener energía eléctrica. “El arreglo de una gran instalación que aproveche el calor terráqueo en las plantas del futuro. Tesla se imaginaba inyectar agua en el fondo rocoso caliente y se regresará como vapor hacia una turbina, después se regresará en forma líquida al circuito cíclico El calor interno de la Tierra es muy grande y prácticamente infinito para los posibles ritmos de consumo de la humanidad”.

La energía geotérmica proviene en un 20 % del calor de formación del propio planeta por choques entre sus componentes originarios, y 80 % es producto del decaimiento radioactivo de materiales que existen cerca del centro de la Tierra [321]. En 1974, Potter [322] propuso un método de extracción del calor de yacimientos geotérmicos de roca seca caliente, su patente sugería fracturar roca varios kilómetros bajo la superficie mediante explosiones nucleares subterráneas; pronto se averiguó que este método de aprovechamiento del calor del interior de la Tierra no requería el uso de explosivos [323]. Dos años después, estaba reportando propiedades de permeabilidad de rocas graníticas características de los yacimientos geotérmicos de roca seca caliente [324]. Desde los años de 1976 hasta 1992 los trabajos de investigación en campo, modelación y desarrollo de plantas prototipos corrieron a cargo de los investigadores de EUA, con un peso fundamental del equipo de investigadores de Los álamos [325-333].

A partir de los 90 del siglo pasado, se presentó una explosión de trabajos de investigación, tanto teóricos como experimentales, en distintos países como Japón, Alemania, Inglaterra, Australia, EUA, Italia y Suecia, entre otros. En la siguiente bibliografía destacamos algunos de los más representativos [334-346].

La importancia global de esta fuente de energía para la supervivencia de la humanidad se puede apreciar por los siguientes comentarios, el primero de Duchane [347]: “La energía geotérmica proveniente de roca seca caliente (HDR, por sus

siglas en inglés) es un recurso muy vasto que se encuentra disponible prácticamente en todo el mundo. En los experimentos conducidos bajo la dirección del El Laboratorio Nacional de Los Álamos (Nuevo México, EUA), en el sitio de pruebas Fenton Hill, se pasó la tecnología de la etapa conceptual a la etapa demostrativa del fenómeno y se produjeron grandes cantidades de energía de manera rutinaria por muchos años. Los experimentos de flujo energético que se efectuaron entre 1992 y 1995 mostraron que dicha fuente de energía es confiable y resistente. HDR tiene un número grande de características únicas que lo hacen particularmente adecuado a las necesidades energéticas de los países del mundo en vías de desarrollo, entre ellas, se encuentra su flexibilidad operacional que permite aportar energía que rápidamente se acopla a los picos de demanda o a los requerimientos no previstos de potencia; y además, tiene el potencial de cogenerar agua y energía limpias. La tecnología HDR ha demostrado ser práctica y versátil, pues proporciona energía las 24 horas del día los 365 días del año y su mantenimiento es mínimo. El siguiente paso lógico es desarrollar un sistema de HDR que permita generar energía a escala comercial, y que proporcione los datos de operación práctica y los datos económicos para promover su rápida expansión comercial de esta tecnología energética única”.

De acuerdo con un estudio realizado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, en el año de 2006 [348], el sistema HDR podría proporcionar 140,000 veces el consumo energético total anual de EUA por tiempo indefinido. Y en la actualidad, con la tecnología ya conocida se puede tener una producción total de 12,200 Gigawatts, lo cual es 15 veces mayor que el pico de la demanda eléctrica en verano para EUA. Con una inversión de 1,000 millones de dólares americanos, lo cual es el costo de una planta de energía eléctrica a carbón, para inversión en investigación y desarrollo, se podría tener

100 Gigawatts de capacidad de este tipo de fuente energética trabajando para el año 2050. Alrededor del 16 % del territorio de EUA puede ser considerado como región térmica con una fracción significativa de zonas hipertermales o que limitan con ellas, en las cuales los gradientes térmicos están entre 60 y 80 grados centígrados por kilómetro de profundidad [349]. Consultando los mapas térmicos correspondientes de las referencias [348, 349], y viendo la continuidad de las cadenas montañosas y de diversos tipos de suelos, es probable que el porcentaje del territorio mexicano con las mismas características térmicas que el de EUA sea de alrededor del 9%, con lo cual está fuera de duda que dicha fuente energética es una alternativa viable para México.

De acuerdo con un estudio realizado por la Unión Europea [351], aproximadamente el 70 % de las necesidades energéticas del mundo se satisfacen con agua a temperaturas que no rebasan los 200 grados centígrados, y dado que las plantas energéticas son cada vez más eficientes, la energía geotérmica puede representar una alternativa fundamental como fuente renovable y sustentable a nivel planetario.

Las isotermas de 200 grados centígrados se pueden encontrar, en general, en muchas zonas de Europa, a profundidades entre 2 y 5 kilómetros, lo cual reduce el problema del incremento del costo de perforación sólo a los pozos más profundos requeridos para el 30 % de la energía, que necesita temperaturas más altas que 550 grados centígrados. En Australia se ha encontrado que la profundidad de muchas zonas con isotermas de 250 grados centígrados es de aproximadamente 5 kilómetros [352].

Por otro lado, una ventaja de la energía geotérmica de roca seca es que ya se tiene experiencia, en producción de energía geotérmica de roca caliente húmeda, y que dicha experiencia abarca a la industria petrolera, la cual debe realizar perforaciones profundas; en ambos casos, EUA tiene amplia

experiencia, indica el estudio del MIT [348]. Lo correspondiente es válido también para el caso de México.

Del total de los recursos de roca seca caliente en EUA explotables económicamente, si se toma con un criterio conservador el 2% de los mismos, ello equivale a 2,800 veces el consumo energético total anual de EUA. Para el caso de México, si tomamos en cuenta que el territorio de EUA es aproximadamente 5.2 veces mayor que el territorio mexicano, tendríamos que nuestros recursos energéticos geotérmicos de roca seca equivalen al 12% de los recursos del mismo tipo en EUA. Aun si tomáramos un criterio más conservador que el de la evaluación del gobierno de dicho país, como tomar un 2 en 1,000 de las reservas, para México tendríamos una capacidad energética asegurada de 33.6 veces el consumo energético actual anual de todo EUA, garantizado por millones de años.

Una comparación entre las fuentes fósiles y HDR aparece en la Figura (26.3) con valores para las reservas planetarias [352].

En el rubro de hot dry rock la cifra es de 1.05 por 10^8 Quads¹, mientras el total de la energía fósil es de 358,900 Quads. Y en lo relativo a los costos de perforación que son una parte importante del costo total de las plantas geotérmicas de roca seca caliente, el estudio del MIT [348] afirma que “la tecnología de perforación está mejorando muy rápidamente debido a cambios evolutivos que se reflejan en taladros de perforación más robustos, métodos nuevos de protección de las paredes de las perforaciones, mejores técnicas de cementación resistentes a altas temperaturas, mejorías importantes en los sensores utilizados en la perforación, electrónica capaz de funcionar a las altas temperaturas a las que están sometidas las herramientas de perforación, y mejoras revolucionarias en

¹ un Quad es 10^{18} Joules

los métodos de penetración de las rocas que se espera bajarán mucho los costos de perforación. Todas las mejoras que se están realizando permitirán un acceso seguro a formaciones térmicas más calientes y profundas, lo cual redundará en plantas económicamente rentables en plazos breves”.

En la Figura (26.4) se representa de manera esquemática una planta geotérmica de roca seca en la cual se inyecta agua fría por un tubo y se extrae agua caliente por otro, aprovechando esta agua para mover turbinas que generan energía eléctrica.

Según un estudio realizado por investigadores de la Universidad de Stanford, Augustine y otros [354], en las plantas EGS (Enhanced Geothermal Systems), Sistemas Geotérmicos Intensificados, basados en la explotación de yacimientos de roca seca caliente, el costo de perforación para llegar al recurso alcanza entre 42 % y 95 % de la inversión total de la planta, dependiendo de diversos factores como el tipo de roca a perforar y la calidad del yacimiento energético. El uso de un indicador desarrollado por el MIT (MITDD index) muestra que los costos de perforación (en dólares del 2003) han disminuido constantemente en los últimos 30 años para profundidades mayores a 760 metros; esto debido a avances tecnológicos en las técnicas de perforación. Según [354] los costos de perforación para geotermia de roca húmeda caliente o roca seca caliente son de 2 a 5 veces mayores que para el caso de pozos de gas o petróleo de la misma profundidad, según se desprende de los datos de la figura adjunta.

Costos de perforación

Recientemente se han registrado varias patentes en materia de perforación de pozos, las cuales ofrecen sistemas revolucionarios de perforación de gran profundidad que en principio

disminuyen a un décimo el costo actual [355- 360].

A continuación resumiremos el método en que se basa cada una de las patentes: El método debido a Potter y compañía [355] se basa en el uso de diversos aparatos y métodos, como un cabezal rotatorio que arroja jets igualmente espaciados sobre una circunferencia que corresponderá aproximadamente con el diámetro de la perforación. Los jets pueden estar constituidos por llamas de combustión o agua muy caliente; cuando trabajan realizando combustión, el aire y el agua llegan al aparato de fragmentación de rocas de manera mezclada, y luego son separados. En el caso anterior, la roca bajo el impacto de los jets de combustible se rompe en fragmentos grandes que luego son retirados. El aparato de fragmentación de rocas puede trabajar con el pozo de perforación vacío o lleno de líquido; en caso de trabajar bajo ambiente líquido, se utiliza la energía cinética del agua que se inyecta desde la superficie para proporcionar la potencia a un turbogenerador (que está en la zona de trabajo de perforación) para generar la energía eléctrica que calentará el agua que después saldrá por el sistema de jets que romperá las rocas. Si es necesario, la configuración de los jets puede adecuarse desde la superficie para inyectar gas hidrógeno y fundir el material rocoso en el caso de que la fragmentación local de la misma no sea posible. Desde la superficie se pueden añadir segmentos de tuberías de alimentación y de retorno tanto de agua como de fragmentos de rocas fragmentadas; e incluso se pueden cambiar aditamentos de perforación sin interrumpir la labor de fragmentación de rocas que constituyen el proceso básico de perforación. La técnica incluye la producción de pozos de perforación de sección no circular lo cual aporta mayor estabilidad mecánica a las paredes de la perforación y así mismo permite introducir y sacar diversos instrumentos y desechos sin interrumpir el avance de la perforación.

Por su parte, la técnica desarrollada por Polizzoti y sus

colaboradores [356] consiste en un método y un sistema que permite perforar a grandes profundidades mediante el uso de un fluido acuoso que disuelve la formación rocosa; el fluido es calentado y se compone de agua e hidróxidos del Grupo I de la Tabla Periódica de Elementos en diversas mezclas. El sistema de perforación comprende los medios de entrega (local a la roca que se perfora) del fluido acuoso (previamente descrito) caliente. De acuerdo con un análisis termodinámico, realizado por los autores de este libro, no se espera que este método sea rentable económicamente para perforaciones a gran escala.

En cuanto a la técnica de perforación desarrollada por Woskov [357], ésta se basa en utilizar la producción de energía electromagnética en forma de microondas en frecuencias entre 30 Ghz y 300 Ghz, para destruir rocas de manera controlada y realizar perforaciones profundas. Aunque la técnica ha sido probada técnicamente en campo, desde el punto de vista económico no es viable, por cuanto no localiza su efecto en las fronteras limítrofes de la superficie a perforar y debe pulverizar todas las rocas para avanzar. El gasto energético es tan alto como en las técnicas estándar de perforación, que pulverizan las rocas para avanzar en lugar de fragmentarlas como los métodos más eficientes y emplean mucha energía de manera innecesaria.

En cuanto a la tecnología propuesta y probada por Moxley [358], ella utiliza un sistema y un método proporcionados por un láser de alta potencia para perforar pozos en la tierra. El sistema cuenta con formas estructurales de entregar la potencia del láser en las regiones donde se realiza la perforación mientras mantiene la alta potencia del láser, lo que garantiza el avance de la perforación a muy alta velocidad pues se pueden remover de manera continua los materiales fragmentados de la parte inferior del pozo, sin interferir en los procesos de fragmentación realizados con el haz del láser.

Ahora bien, el método aportado por Kocis [359] consta de

un equipo innovador que desintegra el suelo mientras avanza, al permitir cortar in situ bloques de roca que pueden ser llevados a la superficie mediante la utilización de módulos de transporte, de los mismos que utilizan diferencias de densidades a través del líquido que llena el pozo de perforación. En dirección opuesta se envía material, componentes, sistemas de corte y repuestos, mediante el uso de módulos más densos que el líquido ya mencionado. Parte del material extraído se utiliza para producir las camisas de estabilización de las paredes del pozo conforme va avanzando la perforación. Además, el equipo permite generar la presión necesaria para que el líquido en el fondo del pozo incremente la permeabilidad de las rocas adyacentes. El equipo como un todo permite que exista una dependencia lineal entre el costo de perforación y la profundidad del pozo perforado y no exponencial, como con la tecnología de perforación tradicional. Esto último es un resultado excelente.

La tecnología debida a Summerson [360] utiliza un aparato y un sistema de perforación basado en el uso de un líquido abrasivo el cual, mediante un sistema de boquillas, puede arrojar haces de líquido o vapor supercrítico que acarrear las partículas abrasivas utilizadas en el corte de las rocas, proceso controlado desde la superficie.

Por el lado positivo, tenemos que la energía geotérmica obtenida de la explotación de yacimientos calientes de roca seca produce muy poca emisión de carbón, ocupa muy poca área y en general, lo hace en zonas de muy poco impacto poblacional humano o de vida silvestre. Por el lado negativo, y como ya hemos mencionado previamente, para el uso económico de EGS se requieren mayores desarrollos tecnológicos en instalaciones de escala industrial e investigación. El consumo de agua es aproximadamente igual que el consumo de cualquier planta termoeléctrica de potencia similar. El valor estimado *EROEI* para la energía geotérmica clásica oscila entre 2 a 1

y 13 a 1, correspondiendo los valores bajos a fuentes de menor temperatura. De acuerdo con análisis realizados por los autores del trabajo que estás leyendo, desde el punto de vista termodinámico, se espera que los valores de *EROEI* sean mucho mayores que 13 para los Sistemas Geotérmicos Intensificados, producidos a partir de yacimientos de roca caliente seca, pues corresponden a yacimientos de mayor profundidad que la de fuentes tradicionales.

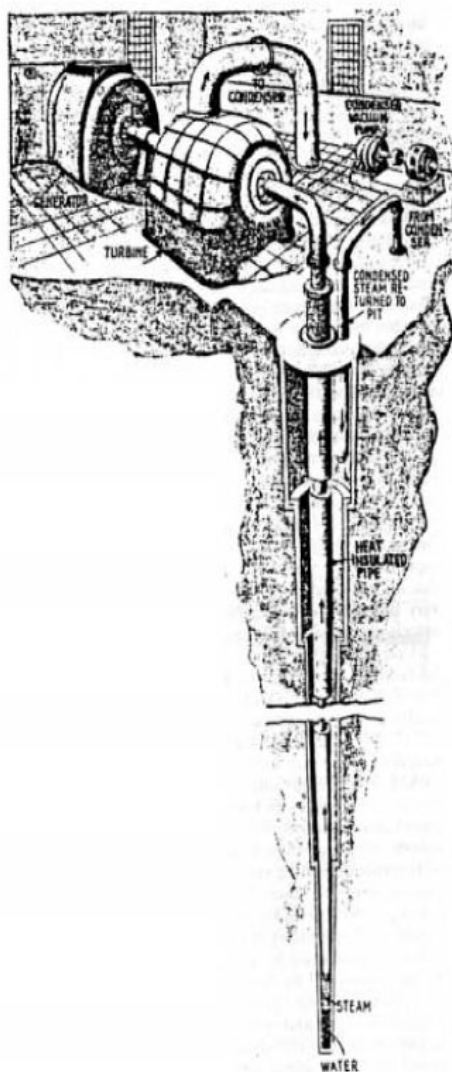


Figura 26.1: Arreglo esquemático propuesto por Tesla (1931) para inyectar agua y extraer vapor de agua del subsuelo con la finalidad de mover turbinas para generar electricidad. Dicho arreglo incluye el reciclado del agua.

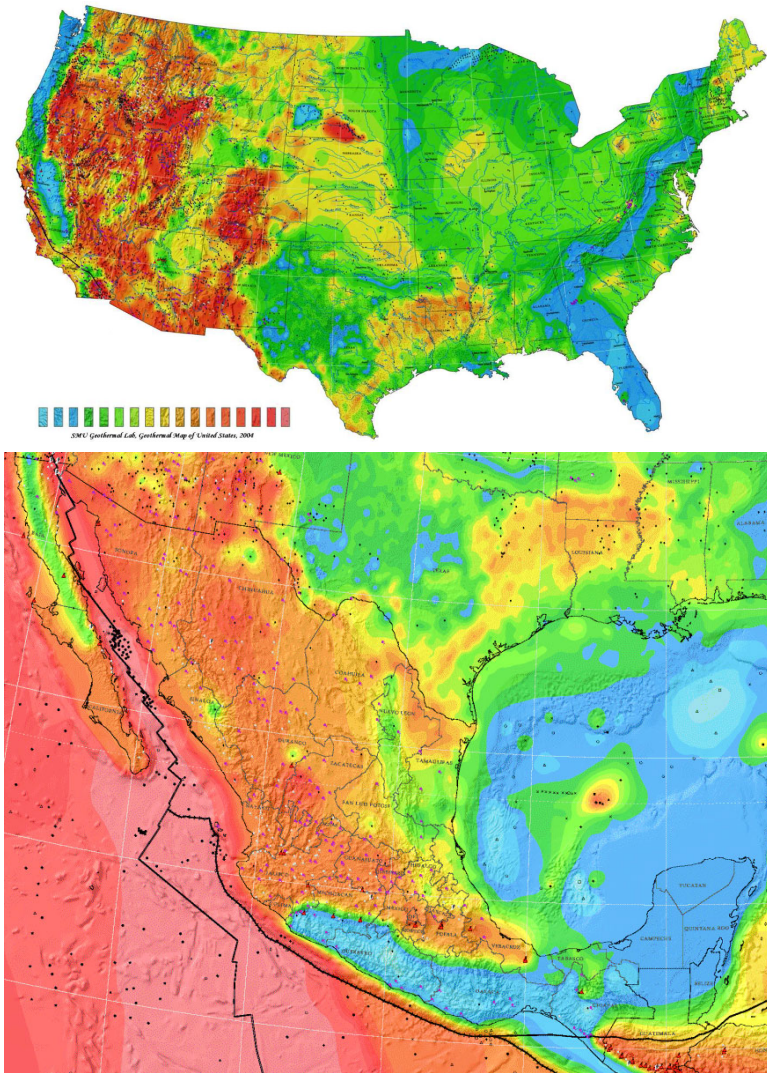


Figura 26.2: Mapas Geotérmicos de EUA y México tomados de la [350]. En ambos casos los tonos mas oscuros representan las zonas de mayor flujo de calor, de donde podemos apreciar, que en ambos casos, se tienen amplias fuentes para producir energía de roca seca.

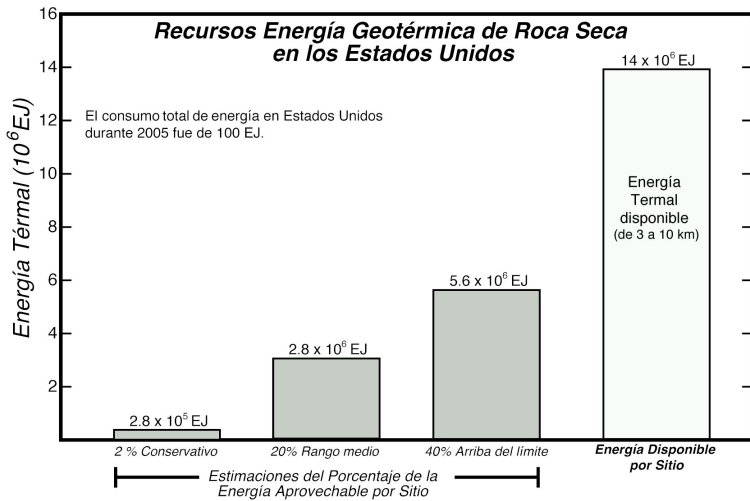


Figura 26.3: Porcentaje de recursos utilizables de la explotación de la energía geotérmica según la tecnología utilizada [348].

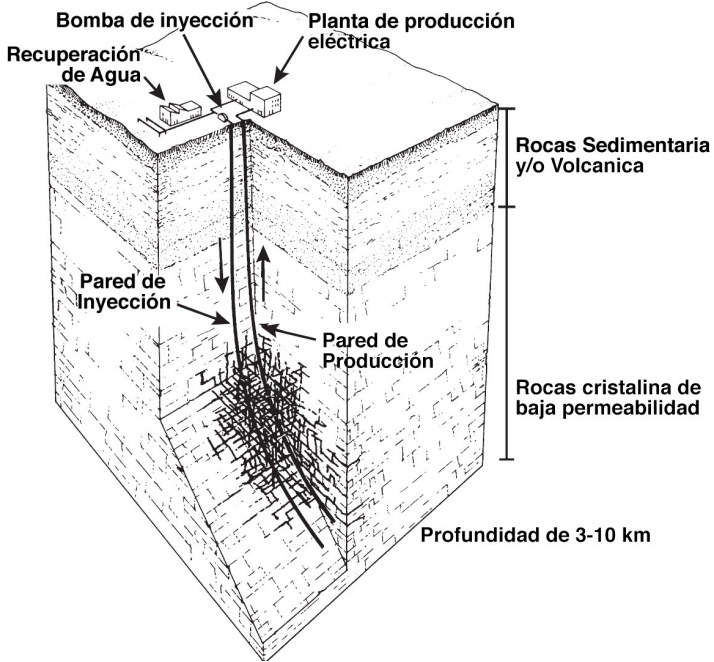


Figura 26.4: Se muestra de manera esquemática el proceso que se involucra en la explotación del recurso de Roca Seca Caliente. Figura tomada del reporte de julio de 1990 realizado por el Instituto Tecnológico de Massachussetts [349]

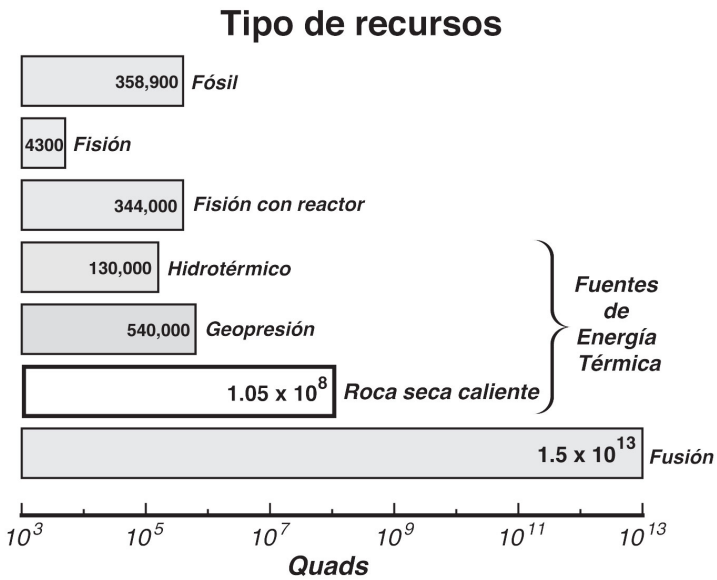


Figura 26.5: Comparación entre diferentes fuentes de generación de energía eléctrica. Adaptación de [352].

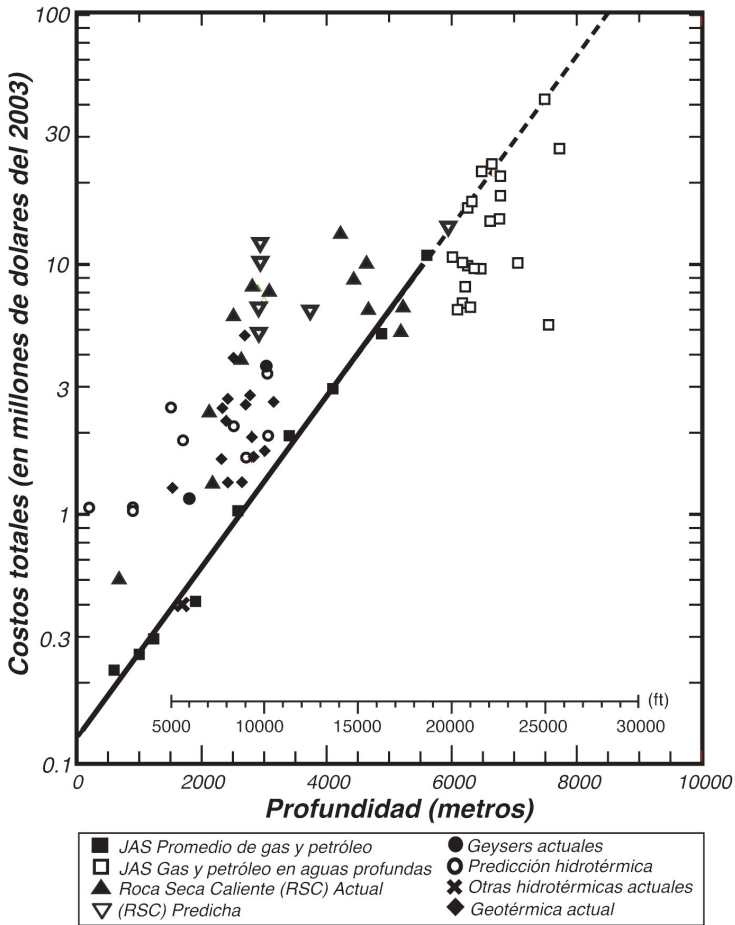


Figura 26.6: Costos de perforación como función de la profundidad.

Capítulo 27

Conclusiones

1. Desde 1631, la humanidad comenzó a depender de fuentes energéticas no renovables. Actualmente el 88 % de la energía mundial utilizada cotidianamente es de productos derivados del petróleo, gas o carbón, que es de origen fósil. En lo que respecta a los hidrocarburos, 50 % de las reservas posibles de extraer se agotaron a fines del 2005. En ausencia de mejoras en la eficiencia del uso de la energía, la economía mundial comenzará a declinar en paralelo al ritmo del decrecimiento de la producción de petróleo y demás energéticos fósiles, y debido al decremento de la economía, disminuirá el poder adquisitivo de grandes sectores de la población.
2. La importancia estratégica de contar con petróleo queda clara en palabras de Dick Cheney, quien fue Secretario de Defensa de los Estados Unidos (1989-1993): “El petróleo es un negocio gubernamental. Mientras muchas regiones del mundo ofrecen oportunidades de explotación petrolera, el Medio Oriente con sus dos tercios del petróleo mundial y el costo de explotación más bajo, es donde está el premio mayor”. Y añadió: “El petróleo

es único por cuanto es estratégico de forma natural. La Guerra del Golfo fue un reflejo de esa realidad.”

3. El capitalismo mundial se enfrenta a una profunda y creciente crisis económica que, parece, será la final ya que, a pasos acelerados, se va transformando en deficiencias permanentes de todo tipo que amenazan la supervivencia de la humanidad. Se requiere el desarrollo de una civilización centrada en la satisfacción de las necesidades básicas de la población mundial actual, así como de la diversidad ecológica fundamental para la existencia de la vida, esto considerando el hecho de que el planeta es finito en tamaño y en cantidad de recursos naturales.
4. La ganancia es el motor de la actividad económica actual. La ecuación básica que gobierna la economía práctica del capitalismo y el socialismo actual es aproximada e incompatible con la existencia de un planeta de tamaño finito. Para un planeta y ecosistemas de tamaño finitos, la ecuación correcta de la economía global debe tomar en cuenta que todo sistema tiene límites a su crecimiento. No existe ninguna combinación de energías alternativas, basadas en innovación científica o tecnológica, que pueda seguir el crecimiento capitalista o similar, y menos a un ritmo de crecimiento exponencial. Eventualmente llegaremos a una tasa de ganancia mundial igual a cero para mantener un equilibrio dinámico con los ecosistemas, los recursos planetarios y la población mundial.
5. De acuerdo con un análisis matemático de guerras previas y grandes conflictos mundiales, realizado por los autores de este libro, se espera con alta probabilidad una gran guerra mundial por la búsqueda de la apropiación de los recursos energéticos ajenos en vías de

agotamiento, a estallar hacia fines del año 2015, fecha cercana a la estimada por el vicepresidente de la Academia de Asuntos Geopolíticos de Rusia, el General Konstantin Sikov, quien esperaba una nueva guerra mundial por los recursos energéticos hacia fines del año 2014 en Medio Oriente.

6. El calentamiento global y sus efectos sobre los ecosistemas y la población humana no es asunto de propaganda o demagogia política, es un asunto demostrado hasta la saciedad de manera científica. Hay que hacer notar que cuando los científicos enfrentan un problema recogen toda la información posible acerca del asunto y extraen sus conclusiones; sin embargo, los propagandistas o los políticos usan una estrategia diferente. Ellos quieren un resultado específico, así que construyen los argumentos que apuntalen los intereses que defienden. Los científicos enfrentan la revisión de su trabajo por los colegas de otras partes del mundo, y no pueden dejar de considerar publicaciones que no estén de acuerdo con sus resultados o hipótesis, por eso, con base en su esfuerzo, es un hecho que preservar la biodiversidad es vital para la integridad del entorno ambiental para la humanidad, la agricultura y las actividades forestales humanas.
7. Es urgente buscar políticas acordadas por toda la humanidad para reducir voluntariamente la carga de la especie humana sobre el planeta, actualmente de 7 mil millones de seres humanos a 2 mil millones de seres humanos, o a un límite superior que sea resultado de un análisis multifactorial que tome en cuenta el cambio de civilización hacia una economía centrada en las necesidades básicas de la humanidad y los ecosistemas; de otra suerte la supervivencia de la especie no tiene futuro. En México, la situación anda mal, pues el territorio

se está convirtiendo en un Sahara americano. El 54 % del territorio de esa nación se está desecando a un ritmo alarmante, la desertificación avanza a un ritmo del 2 % anual. Debido al calentamiento global se espera que la precipitación media en México disminuya en 20 %.

8. De acuerdo con la World Wildlife Fund, en el año 2000 la Tierra tenía 40 % menos especies de vertebrados que 30 años antes, es decir en 1970. Para el 2010, por extrapolación, deberíamos andar en una disminución del 50 % en el número de especies de vertebrados. Lo anterior da una idea de la alarmante situación que amenaza a las formas superiores de vida en el planeta, entre ellos la de nuestra especie.
9. El acero es indispensable para la producción de energía y su transmisión a largas distancias, y es básico en toda la industria pesada. La producción de una tonelada de acero o hierro, a partir de mineral de hierro, sin utilizar acero reciclado, requiere de 875 kg de carbón de coque. La necesidad social de producción de cemento es más intuitiva para la población en general que el caso de la producción de acero. La cantidad de energía utilizada para producir un kilogramo de cemento es aproximadamente de 500 gramos de carbón de coque.
10. En la etapa de caza-recolección, los seres humanos conseguían mediante su trabajo un *EROI* con valor de 10, lo cual significa que en promedio obtenían 10Kcal, por Kcal invertida. En relación a los combustibles fósiles, para carbón el *EROI* es del orden de 80 a uno mientras que actualmente, para el petróleo y gas a nivel mundial, es de 15. Toda fuente de energía alternativa que no aporte un valor de *EROI* de 10 (diez a uno entre energía obtenida entre energía invertida) en realidad está siendo subsidiada por la economía general del

petróleo. El gran ritmo de uso de combustibles fósiles que se hace en EUA equivale a que cada estadounidense tenga a su disposición las 24 horas del día de 60 a 80 trabajadores manuales muy fuertes (trabajadores o esclavos energéticos) que realicen labores como serrar madera para obtener combustible para cocinar y calentar el agua para su baño, transportarlos, sembrar, regar y recoger cosechas, tejer las ropas, etc. En México ello equivale a tener 10–14 trabajadores virtuales por habitante las 24 horas del día. ¿Qué pasará cuando estos hipotéticos trabajadores que nos proporcionan los combustibles fósiles comiencen a disminuir en número y eventualmente dejen de existir?

11. En cuanto a la minería de recursos no renovables podemos ver la situación general a través de un ejemplo: el oro. El problema que surge en relación con los recursos no renovables, es que al ir explotando el recurso j , en general la ley o concentración del mineral del cual se extrae dicho recurso disminuye con el avance de la explotación. Nótese que en la minas de Australia, en el caso del oro, se pasó de 50 gramos por tonelada de mineral en 1865 a 2 gramos por tonelada en el año 2000, con el consecuente incremento en el gasto energético. En México, una cuarta parte del territorio está lleno de destrozos causados por la minería fundamentalmente de origen extranjero; y algo preocupante es que las labores de minería en México están creciendo de manera exponencial. Más del 90% de la producción actual de oro en el mundo se obtiene mediante el uso de cianuro (Sodium Cyanide, fórmula química: NaCN). Y el 99.2% del cianuro de sodio utilizado en la minería del oro se desperdicia y es fuente de contaminación ambiental, tanto en forma directa como a través de sus compuestos metálicos que no son fácilmente degradables.

Y lo más grave de la explotación minera en México, principalmente extranjera ¡es que afecta muy negativamente la cuarta parte de los ecosistemas de México y significa sólo una contribución al PIB del 1.3%! Muy interesante y doloroso es que el daño irreversible a los ecosistemas se queda en México, las ganancias se van al extranjero y se viola flagrantemente, entre otros, el artículo 27 constitucional, regalando los gobernantes a sus socios extranjeros lo que no es de ellos sino de la Nación; amén de la violación a diversos principios establecidos en la “Declaración de Río”, misma que reconoce la interdependencia e integralidad de la naturaleza de la Tierra.

La evaluación de cualquier fuente energética, que sustituya a los combustibles fósiles, debe cumplir con los siguientes criterios:

- a) Tener un precio económicamente competitivo.
- b) Ser técnicamente factible en escala masiva.
- c) El impacto ambiental de la misma hacia los ecosistemas debe ser mínima.
- d) Proporcionar energía útil por centurias o milenios.
- e) Permitir el reciclamiento de materiales estratégicos.
- f) Ser una fuente de suministro confiable que aporte energía de manera continua y sin fluctuaciones.
- g) Ser una fuente de alta densidad energética.
- h) Ser una fuente de fácil y barata transportabilidad, como la energía eléctrica.

12. Mediante el uso de criterios del punto anterior y de la técnica EROI, se analizaron a profundidad 16 fuentes

energéticas alternativas a los combustibles fósiles: hidroelectricidad, energía nucleoelectrica, biomasa, energía del viento o eólica, energía solar fotovoltaica, concentradores térmicos de luz solar, uso pasivo de luz solar, desperdicios originados por la especie humana, minería, y energía eléctrica obtenida de la basura doméstica y sus repercusiones sobre los ecosistemas, bioetanol, biodiésel, arenas bituminosas (tar sands), oil shale (kerógeno) o pizarra bituminosa, energía de las mareas, energía de ondas marinas, energía de hidratos de metano, energía geotérmica de roca seca caliente.

13. Un discurso de Obama del año 2009, relativo a la importancia que para su país tienen los energéticos, es relevante: “Nos debemos a todos y cada uno de los estadounidenses de América el actuar con un sentido de urgencia y propósito común. Nosotros no podemos permitirnos distracciones y tampoco podemos permitirnos retrasos. Estos son tiempos extraordinarios, y exigen acciones rápidas y extraordinarias. En este tiempo de tan gran desafío para EUA, ningún tema es tan fundamental para nuestro futuro como el de la energía. La dependencia de EUA respecto al petróleo es una de las más grandes amenazas que enfrenta nuestra nación. Esta amenaza desbanca el peligro que representan los dictadores, la proliferación nuclear, funde ambos asuntos con nuestra lucha contra el terrorismo. Pone al pueblo estadounidense a merced de los aumentos de precio de los combustibles, ahoga la innovación y disminuye nuestra capacidad de competir.”
14. Según Faith Birol, jefe de la Agencia Internacional de Energía: “los patrones de la tendencia actual de consumo de energía de origen fósil apuntan hacia alcanzar 6 grados Celsius de incremento de temperatura respecto

a la era preindustrial hacia el año 2100". Se espera un incremento aproximadamente exponencial con el tiempo, con una razón de crecimiento anual de 3.2% hasta alcanzar el valor de 6 grados Celsius en el año 2100. De acuerdo con Faith Birol "este incremento significará vivir en un planeta enteramente distinto al que conocemos, para la especie humana será una catástrofe". En este marco morirán miles de millones de seres humanos, y el peligro de desaparición de la especie humana es muy alto.

15. Si queremos sobrevivir debemos mantener bajo tierra el 80% de las reservas totales de combustibles fósiles para evitar la catástrofe ambiental y sus consecuencias fatales para la humanidad. El problema actual es cómo hará la humanidad para hacer que ayuden los países y las compañías que cuentan con dichos recursos como riqueza potencial en sus libros financieros. ¿Si alguna compañía o país tiene recursos energéticos fósiles que, por ejemplo, valen 25 millones de millones de dólares, cómo los convencemos de que sólo exploten 5 millones de millones de dólares en fósiles y dejen su supuesta riqueza restante debajo de la superficie de la tierra?
16. Los principales enemigos de la humanidad son los intereses y el poderío militar de las compañías petroleras mundiales que, en la persecución de la ganancia a toda costa, llevan a la humanidad al borde del precipicio de la extinción y el genocidio.
17. De acuerdo con nuestro estudio, la alternativa energética mundial en cuanto a alta potencia es la geotérmica de roca seca caliente explotada de manera científica e ingenieril; la cual está en por entrar a una escala de aplicación masiva al haberse producido grandes cantidades de energía de manera rutinaria por muchos años

en diversos países. Es una técnica que no contribuye al calentamiento global y no daña los ecosistemas planetarios. La tecnología ha demostrado ser práctica y versátil, a la vez que proporciona energía las 24 horas del día los 365 días del año. Su mantenimiento es mínimo. Alrededor del 16 % del territorio de EUA puede ser considerado como región térmica con una fracción significativa de zonas hipertermales o que limitan con ellas, en las cuales los gradientes térmicos están entre 60 y 80 grados centígrados por kilómetro de profundidad. Consultando los mapas térmicos correspondientes de las referencias y viendo la continuidad de las cadenas montañosas y de diversos tipo de suelos, es probable que el porcentaje del territorio mexicano con las mismas características térmicas que el de EUA sea de alrededor del 9 %; con lo cual está fuera de duda que dicha fuente energética es una alternativa viable para México. Del total de los recursos de roca seca caliente en EUA explotables económicamente, si se toma con un criterio conservador el 2 % de los mismos, ello equivale a 2,800 veces el consumo energético total anual de EUA. Para el caso de México, si tomamos en cuenta que el territorio de EUA es aproximadamente 5.2 veces mayor que el territorio mexicano, tendríamos que nuestros recursos energéticos geotérmicos de roca seca equivalen al 12 % de los recursos del mismo tipo en EUA. Aun si tomáramos un criterio más conservador que el de la evaluación del gobierno de dicho país, como tomar un 2 en 1,000 de las reservas, para México tendríamos una capacidad energética asegurada de 33.6 veces el consumo energético actual anual de todo EUA, garantizado por millones de años. México tiene la ventaja de contar con un sector universitario y de investigación científica de alta calidad, amén de contar con una industria petrolera que garantiza experiencia en perforación a grandes

profundidades, así como amplia experiencia en plantas geotérmicas de rocas caliente y húmedas. En una primera etapa, nos beneficiaríamos del hecho de que de acuerdo con un estudio realizado por la Comunidad Europea, aproximadamente el 70 % de las necesidades energéticas del mundo se satisfacen con agua a temperaturas que no rebasan los 200 grados centígrados, y dado que las plantas energéticas son cada vez más eficientes, la energía geotérmica puede representar una alternativa fundamental como fuente renovable y sustentable a nivel planetario. En cuanto a los costos de perforación, recientemente se han registrado varias patentes en materia de perforación de pozos, las cuales ofrecen sistemas revolucionarios de perforación de gran profundidad que en principio disminuyen a un décimo el costo actual, lo cual es muy conveniente por cuanto en este tipo de plantas de roca seca los costos de perforación, antes de dichas innovaciones en perforación, ascendían a entre el 42 % y el 90 % del costo de la misma.

18. Es urgente emprender acciones en materia de fuentes energéticas alternativas a los combustibles fósiles por sus repercusiones al calentamiento global. Sobre ello, el físico y economista italiano, Cesareo Marchetti, ha dicho que la historia muestra que el desarrollo masivo de cada nueva fuente energética o motriz ha requerido de un período aproximado de 55 años, con un error de un 3 %.

Capítulo 28

Propuestas

28.1. Antecedentes

El diagnóstico anterior está basado en multitud de trabajos científicos realizados por una gran cantidad de científicos de todo el mundo, y nos lleva a la conclusión fundamental de que la fuente alternativa a los combustibles fósiles a largo plazo, en México, es el desarrollo de la energía geotérmica de roca seca caliente, misma que cubrirá todas las necesidades energéticas de la población mexicana, del campo y de sus industrias. Para hacer que dicha fuente sea una realidad, es necesario actuar de inmediato por cuanto el desarrollo masivo de cada nueva fuente energética o motriz históricamente ha requerido de un período aproximado de 55 años; y nuestra principal fuente energética actual, los hidrocarburos, escasamente nos permiten lograr dicha meta. Para lograr la transición plena de hidrocarburos a energía geotérmica de roca seca caliente debemos asegurar el dominio que da la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (vigente a julio del 2013) a la nación respecto a los hidrocarburos y demás recursos naturales renovables y no renovables. Actuar de otra manera privaría a la nación de los energéticos, los

recursos económicos, y de la posibilidad de desarrollar los recursos humanos necesarios para evitar la muerte de casi toda la población mexicana actual y futura. Los puntos que deben ser considerados son:

1. Que desde 1938, es una tendencia mundial la estatización de las industrias petroleras, y que debido a su importancia para la soberanía y supervivencia de los pueblos del mundo, actualmente 9 de cada 10 barriles de petróleo que se producen provienen de compañías estatales.
2. Que de acuerdo con estudios realizados, entre otros, por el economista egipcio Samir Amin, el próximo ingreso masivo de las agroindustrias en la producción mundial implicará el desplazamiento permanente de 3,500 millones de campesinos de la producción, sin posibilidad de ser integrados a otros empleos antes de cincuenta años, constituyendo esto un futuro genocidio. Que en México, desde el 2008 están en riesgo de correr la misma suerte 28 millones de campesinos.
3. Que los combustibles fósiles están en proceso de agotamiento, y la alternativa de sustituirlos por biocombustibles, según el economista Samir Amin, significará el genocidio de entre el 75 % y el 85 % de toda la población mundial, lo cual, en esencia, coincide con resultados de la compañía Nestlé, que afirma que llegar a la meta del 20 % del consumo mundial de combustibles sugerida por los Estados Unidos de América implicaría que en todo el mundo no existiría cereal para la alimentación humana.
4. Que el desarrollo de nuevas fuentes energéticas alternativas a las fósiles que no atenten contra la supervivencia de la mayoría de la especie humana son intensivas de

capital. Que las compañías privadas transnacionales no son hermanitas de la caridad y tienen como objetivo maximizar sus ganancias, sin importarles el desarrollo del país o la supervivencia de la especie humana si ello no representa un negocio. Que de acuerdo con la Comisión Europea las grandes compañías petrolíferas del mundo invierten anualmente cantidades cercanas al 1 % de sus ventas o producción bruta para el desarrollo de nuevos conocimientos científicos y tecnologías energéticas (ExxonMobil, que produce cantidades cercanas de hidrocarburos en las de PEMEX invierte anualmente 909 millones de dólares; Petrobras, 882 millones de dólares; Petrochina, 674 millones de dólares; Gazprom, 617 millones de dólares).

5. Que la Reforma Energética en materia de petróleo enviada por el Licenciado Enrique Peña Nieto y aprobada por el Senado, es inconstitucional y pretende justificar la transferencia de entre 60 % y 75 % de la renta petrolera al capital privado, en particular extranjero (los grandes capitales de Estados Unidos y sus socios). Que dicha privatización, vergonzosa, busca esconder la violación a lo establecido en los artículos 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que reservan al Estado en forma exclusiva, entre otras, las áreas estratégicas del petróleo y demás hidrocarburos, la exploración, refinación, transporte, almacenamiento y distribución de petróleo y gas, así como la petroquímica básica. Que ello es inadmisibles, y se debe impedir por todos los medios constitucionales al alcance de los ciudadanos mexicanos que deseamos la continuidad de la existencia de México como nación independiente; y no la conversión de nuestro país en una colonia de los Estados Unidos de América, con una población cada vez mas mermada por la pobreza.

28.2. Propuestas

En particular se propone:

- I. Bajar el porcentaje de impuestos de PEMEX al nivel del resto de las empresas en México.
- II. Elevar el porcentaje de impuestos a las empresas en México al nivel de impuestos promedio vigente en Europa, sin conceder ningún tipo de subvención o exención de impuestos a ninguna de las empresas privadas en México, ya que los ingresos tributarios de México, sin incluir los del petróleo, equivalen a menos del 11 % del Producto Interno Bruto (PIB), cerca de la mitad del de Rusia, cuando el promedio de los impuestos, sin incluir petróleo, en los países miembros de la OCDE es de 36 % del PIB, según Angel Gurría, Secretario General de la OCDE (2006). En otras palabras, ya basta de continuar subsidiando a las grandes empresas, sobre todo extranjeras, transfiriéndoles parte de la renta petrolera a través de una política de impuestos muy bajos que les permite incrementar desmesuradamente sus ganancias, exportarlas y crecer a nuestras costas, esto sin que contribuyan al empleo o al desarrollo de industrias en el país, por cuanto el 80 % de las industrias y comercios pequeños, las cuales aportan el 20 % de las ventas, producen el 85 % del empleo nacional. ¡No más transferencias de recursos de PEMEX hacia las empresas grandes vía los impuestos bajos!
- III. Mantener sin cambio alguno los artículos constitucionales que especifican y establecen el dominio y la propiedad de la nación sobre sus recursos energéticos, territorio, aguas y minerales, esto es, los artículos 25, 26, 27, 28. En todo caso, el pueblo mexicano, para sobrevivir, tendrá que recurrir a la Constitución vigente en julio del

- 2013, en particular, a los artículos 3, 27, 28, 39, 135 y 136.
- IV. Reducir el gasto burocrático en lo que toca únicamente a los salarios de la alta burocracia. Al reducir los salarios de este grupo a niveles decorosos del orden de 50,000 pesos mensuales se ahorrarían alrededor de 20,000 millones de dólares anuales.
 - V. Establecer políticas de austeridad en el gasto público federal (sin tocar los salarios de los empleados públicos). Como ya se demostró en el caso del Distrito Federal, con el uso de la regla de proporcionalidad que nos enseñaron en primaria, en el país, la eliminación de los despilfarros y los incrementos de gasto debido a los sobrepagos de los contratistas, permitiría obtener otros 21,000 millones de dólares.
 - VI. Que para actos de corrupción que afecten el patrimonio nacional, en grado importante, las penas de los que se encuentren culpables se equiparen a las de secuestro; y en todo caso, se establezca el camino legal operativo para restaurar el daño económico. ¡No más impunidad para los que medran de la riqueza nacional!
 - VII. Con los recursos fiscales adicionales, PEMEX tendría por lo menos 129,375 millones de pesos anuales provenientes de impuestos liberados, y además, parte de los 41,000 millones de dólares provenientes del ahorro para utilizarlos en inversión y desarrollo. En todo caso, gran parte de los 41,000 millones de dólares podrían dedicarse al desarrollo de infraestructura de distinto tipo para promover el desarrollo nacional, educativo y social. Y si además tomamos en cuenta que con la reforma impositiva aquí propuesta PEMEX tendría libres de impuestos

y gastos corrientes 60,000 millones de dólares anuales libres de polvo y paja, el panorama cambia radicalmente.

VIII. Junto con lo anterior, se podría instrumentar un proyecto energético nacional para el desarrollo e investigación en lo relativo a la extracción de petróleo de aguas profundas y el desarrollo de fuentes alternativas de energía en alta potencia, en particular de geotérmica de roca seca caliente, misma que requeriría al principio, un aporte anual mínimo por parte de la Federación de 9 mil millones de pesos (ExxonMobil, que produce el doble de petróleo por año que PEMEX dedica a las mismas actividades de investigación y desarrollo 909 millones de dólares). Los objetivos de dicho proyecto, el cual estaría a cargo del Instituto Mexicano del Petróleo, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, el Instituto de Investigaciones Eléctricas, la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Politécnico Nacional, la UAM, en conjunto con PEMEX, serían, primero, aportar a la Nación, a corto plazo, las mejoras tecnológicas y científicas necesarias para la explotación del petróleo de aguas profundas; y a mediano plazo, los sustitutos efectivos de los hidrocarburos que están en proceso de agotamiento. Y segundo, aportar, operar, evaluar y perfeccionar los instrumentos, técnicas, accesorios, plantas piloto e instalaciones de capacidad media necesarias para lograr los objetivos señalados. La supervisión periódica del avance de dicho proyecto estaría a cargo de la UNAM, el Politécnico, la UAM, la Secretaría de Energía, de representantes ciudadanos de reconocida capacidad técnica, y debería rendir cuentas de manera pública ante el Congreso de la Unión. En particular, a corto plazo se deberían recontractar técnicos, ingenieros y especialistas diversos que han sido despedidos u obligados a retirarse de PEMEX y del Instituto Mexicano

del Petróleo.

- IX. PEMEX debería ser una industria integrada, y al igual que hace Estados Unidos de América, el ídolo de los vende patrias, deberíamos promover las sinergias con los proveedores de la industria, desde fabricantes de maquinaria hasta grandes firmas de ingeniería de diseño y construcción de plantas, privilegiando hasta donde sea posible a la industria nacional. Imitemos a los gringos, seamos nacionalistas como ellos y promovamos el desarrollo de nuestra nación, no la de ellos! La construcción nacional y la puesta en marcha de tres refinerías por parte del Estado permitiría, después de tres años, el ahorro anual en divisas de 29,400 millones de dólares por concepto de importación de gasolinás.
- X. Como país, ahora debemos concentrarnos en las fuentes fáciles y baratas para obtener petróleo. Y paulatinamente, deberemos irnos dedicando a las fuentes más difíciles y caras, conforme avancemos en el dominio tecnológico y científico de perforaciones y explotaciones de mayor complejidad. Todo lo anterior permitiría garantizar el suministro y producción de productos petrolíferos para los próximos 15 o 20 años, a la vez que se irían desarrollando las técnicas que aseguren el futuro energético del país; en particular respecto a las plataformas para perforación y explotación de aguas profundas, donde la continuación de la labor del Instituto Mexicano del Petróleo y el apoyo en investigación por parte de las universidades nacionales será imprescindible.
- XI. Recordemos que los hidrocarburos son un recurso no renovable estratégico perteneciente a la Nación, del que depende la continuación de la vida civilizada de la población mexicana, la cual está amenazada por una posible

catástrofe poblacional que implicaría la muerte temprana de 105 millones de mexicanos en fechas próximas de no tomar las medidas pertinentes; por tanto debemos cuidar que su ritmo de explotación no ponga en peligro de extinción a las siguientes generaciones por un manejo deficiente de estos recursos que no son jitomates o lechugas, como para sentirse presionados a venderlos como si se fueran a echar a perder. Debemos utilizar el petróleo como una palanca de desarrollo que permita aprovechar la renta petrolera en beneficio máximo de la población mexicana y no de empresas privadas extranjeras o nacionales.

- XII. Que con una parte de los 41,000 millones de dólares provenientes del ahorro del despilfarro en burocracia se desarrolle una política general integral estatal, que busque nichos internacionales y nacionales donde la educación, la ciencia y la tecnología, puedan aportar oportunidades de desarrollo económico nacional (adicional al del sector energético), las cuales puedan generar las nuevas fuentes de empleo, necesarias para que todo mexicano pueda desarrollarse plenamente en un marco sustentable a largo plazo. Que en particular, a la brevedad debería desarrollarse una política que garantice la auto suficiencia alimentaria de la población mexicana y el empleo de los campesinos.

Bibliografía

- [1] Estrada A. Comportamiento Animal, el caso de los primates. Fondo de Cultura Económica. México (1993) 99.
- [2] G.B. Zorzoli. H. Blume. El Dilema Energético. Ediciones Rosario 17, Madrid (1978).
- [3] Kenneth H. Cooper. The Aerobics Way. McEvans and Company, Inc. New York, N.Y. U.S.A. (1979).
- [4] Leonard Cottrell. Land of the Two Rivers. The World Publishing Co., Cleveland, Ohio, U.S.A.(1962).
- [5] D.S. Halacy Jr. The Geometry of Hunger. Harper & Row, Publishers, New York, U.S.A.(1972).
- [6] Tarasyev, Alexander y Watanabe, Chihiro. IIASA: Interim Report IR-99-001/January 99. "Optimal control of R & D Investment in a Techno Metabolic System". www.iiasa.ac.at
- [7] Jared Diamon. Natural History 9 (1994) 4.
- [8] "Building Limited Fossil Energy Supplies into the World Monetary System" by Richard Douthwaite. Paper presented at the International Workshop on Oil Depletion, Uppsala University, Sweden, May 23-24th, 2002.
- [9] Revolución Tecnológica (coordinador Marcos Kaplan), Tomo I (Ciencia, Estado y Derecho en las Primeras Revoluciones Industriales). Universidad Nacional Autónoma de México y Petróleos Mexicanos. México (1993).
- [10] "Planeación energética estratégica y desarrollo de fuentes renovables de energía". Andrés Montemayor Varela, Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Octubre de 1999, Universidad Nacional Autónoma de México. Director de Tesis Dr. Jorge Antonio Montemayor Aldrete.
- [11] The End of Cheap Oil by C.J. Campbell and J.H. Laherrére, in Scientific American March (1998).

- [12] Almanaque Mundial. Editorial Televisa, México (Números de los años 1965 a 1999).
- [13] Walter B. Wriston "Technology and Sovereignty". Foreign Affairs, New York, Council of Foreign Relations, Vol. 67, núm. 2 (1988).
- [14] Annual Energy Review. U.S. Department of Energy, Energy Information Administration. 1997.
- [15] Banco de Información Económica, INEGI. Sector Energético. Consulta por Internet, en www.inegi.gob.mx.
- [16] Pemex, Anuario Estadístico (1985). La Industria Petrolera, Pemex (1986).
- [17] The Wall Street Journal Almanac (1998). Ronald J. Alsop Editor. Ballantine Books. New York. USA (1997).
- [18] Programa Nacional de Acción Climática. Documento para Consulta Pública. SEMARNAP (1999) p. 92.
- [19] Mans Impact on the Global Enviroment (Report of the Study of Critical Enviromental Problems (SCEP)). The Massachusetts Institute of Technology, USA (1970).
- [20] Presentación del Secretario de Energía ante la Comisión de Energéticos de la LVII Legislatura de la H. Cámara de Diputados, 12 de noviembre de 1997, p 26.
- [21] Bertrand Russell. Nuevas esperanzas para un mundo en transformación. Editorial Hermes. Buenos Aires (1964).
- [22] "Fossil Fuels vs. Renewable Energy Resources" Eric McLamb, September 6, 2011, <http://www.ecology.com/2011/09/06/fossil-fuels-vs-renewable-energy-resources/>
- [23] El Sector Eléctrico de México (coordinación Daniel Resendiz-Nuñez) Comisión Federal de Electricidad y Fondo de Cultura Económica, México (1994) p. 470.
- [24] Lester R. Brown. The Twenty-Ninth Day. Accommodating human needs and numbers to the earth's resources, by Worldwatch Institute. W.W. Norton and Co. Inc. New York, USA (1978).
- [25] Atmospheric Carbon Dioxide & Global Surface Temperature Trends <http://www.c2es.org/print/facts-figures/trends/co2-temp>
- [26] M. King Hubber t, "Nuclear Energy and the Fossil Fuels", Presented before the Spring Meeting of the Southern District Division of Production, American Petroleum Institute, Plaza Hotel, San Antonio, Texas March 7-8-9 , 1956.

- [27] The Oil Drum — Why We (Really) May Have Entered an Oil Production Plateau, Sam Foucher on November 13, 2006. <http://www.theoil Drum.com/story/2006/11/2/204936/516>
- [28] Hubbert Linearization - Wikipedia, the free encyclopedia http://en.wikipedia.org/wiki/Hubbert_Linearization
- [29] PEAKING OF WORLD OIL PRODUCTION, An Overview, Robert L. Hirsch, Senior Energy Program Advisor, SAIC, Atlantic Council Workshop on Transatlantic Energy Issues. October 23, 2006.
- [30] “Has the World Already Passed Peak Oil? (<http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2010/11/101109-peak-oil-iaa-world-energy-outlook/>)” National Geographic News. November 9, 2010. Is “Peak Oil” Behind Us? (<http://green.blogs.nytimes.com/2010/11/14/is-peak-oil-behind-us/?partner=rss&emc=rss>). The New York Times. November 14, 2010.
- [31] Richard A. Kerr, Science 25 march 2011 vol 331, pp1510 .
- [32] Dick Cheney, Peak Oil and the Final Count Down By Kjell Aleklett Uppsala University, Sweden Aleklett@tsl.uu.se President of the Association for the Study of Peak Oil www.peakoil.net. May 12, 2004.
- [33] Cordell, Dana; Drangert, Jan-Olof; White, Stuart (May 2009). "The story of phosphorus: Global food security and food for thought". *Global Environmental Change (Elsevier)* 19 (2): 292, 305. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
- [34] Peak phosphorus , By Patrick Déry and Bart Anderson. Published on Monday, August 13, 2007 by Energy Bulletin
- [35] Recycling Could Replace Mining for U.S. Iron Supply: By David Biello — Tuesday, October 17, 2006 Scientific American
- [36] Will Sustainability Constraints Cause “Peak Minerals”?, G. M. Mudd, J. D. Ward. 3rd International Conference on Sustainability Engineering & Science : Blueprints for Sustainable Infrastructure , Auckland, New Zealand, 9-12 Dec. 2008
- [37] Production of gold has many negative environmental effects By Nina Shen Rastogi Tuesday, September 21, 2010; HE03. Washington Post
- [38] “Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention”, W. Salomons. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 52, Issues 12, January 1995, Pages 523.
- [39] History of Energy, James C. Williams, Ph.D. The Franklin Institute <http://www.fi.edu/learn/case-files/energy.html>
- [40] Historical Timeline—Alternative Energy—ProCon.org

- [41] Industrial energy use and the human life history Oskar Burger, John P. DeLong & Marcus J. Hamilton. *Scientific Reports* 1, Article number: 56 doi:10.1038/srep00056. Received 13 April 2011 Accepted 18 July 2011 Published 05 August 2011, Nature.com
- [42] “The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model”, C. Marchetti and N. Nakicenovic, RR-79-13, December 1979. International Institute for Applied System Analysis. Laxenburg Austria.
- [43] “Society as a Learning System: Discovery, Invention, and Innovation Cycles Revisited”, C. Marchetti 1981. International Institute for Applied System Analysis. Laxenburg Austria.
- [44] “Renewable Energies in a Historical Context”, C. Marchetti, December 1985, PP-85-2. INTERSOL 85, World Solar Energy Conference, Montreal, June 1985.
- [45] “The Future”, C. Marchetti, 1980. International Institute for Applied System Analysis. Laxenburg Austria.
- [46] “Productivity versus Age”, FINAL REPORT by Cesare Marchetti. For the Richard Lounsbery Foundation Contract No. 00-155 June 2002. International Institute for Applied Systems Analysis Schlossplatz 1 A-2361 Laxenburg, Austria.
- [47] Millenarian Cycles in the Dynamics of the Catholic Church, A System Analysis. C. Marchetti. *Technological Forecasting and Social Change* 46, 189-196 (1994). [1. a] <http://www.hubbertpeak.com/hubbert/wwf1976> [1. b] “A Simple Substitution Model of Technological Change”, J. C. Fisher and H. Pry *Technological Forecasting & Social Change* vol. 3, (1971-1972), 75-88.
- [48] “Primary energy Substitution Models: On the Interaction between Energy and Society”, C. Marchetti, *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 10, (1977), 345-356.
- [49] “Kondratiev revisited-after One Kondratiev Cycle”, C. Marchetti, Presented in the International Conference on Regularities of Scientific- Technical Progress and Long “Term Tendencies of Economic Development”, held at Novosibirsk, Akademgorodok, USSR on March 14-19, 1988.
- [50] “The Steel Industry Globalization Trends”, Abstract of presentation to LME Members May 23, 2003. <http://www.laplaceconseil.com/LaplaceConseil/htdocs/admin/upload/File/LME%20Steel%20Globalization%20Trends.pdf>
- [51] “Anthropological Invariants in Travel Behavior”, C. Marchetti, *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 37, (1994), 75-88.
- [52] “Transport Systems and City Organization”, A Critical Review of the Relevant Literature. Principal author C. Marchetti, Contract No. 10375-94 F1 ED ISP A Laxenburg, May 1995.

- [53] “Time patterns of Technological Choice Options”, C. Marchetti, Invited paper presented at the Conference on Time Preference, An Interdisciplinary Approach. Wissenschaftszentrum, Berlin, FRG, December 16-17, 1985.
- [54] “Elektron: Electrical Systems in Retrospect and Prospect”, J.H. Ausubel and C. Marchetti. *Journal of the American academy of Arts and Sciences* Summer 1996, page 139.
- [55] General Leonid Ivashov “Del 11-S a Oriente Medio; del terrorismo a la guerra nuclear preventiva: nada más que el preludio de grandes sucesos” <http://edicion4.com.ar/e4blog/index.php?tag=israel&paged=2>
- [56] Jorge A. Montemayor-Aldrete, “Crisis final del capitalismo: economía global y ciencia en un mundo de tamaño finito”, 21 de octubre de 2008. <http://www.elrevolucionario.org/rev.php?articulo984>.
- [57] Marx, Karl, *Capital*, vol. 3, edited by Frederick Engels. New York: International Publishers, 1967 (orig. ed. 1894). Chapter 2, “The Rate of Profit” and Chapter 13, “The Law as Such.”
- [58] “Stable Rules in Social and Economic Behavior”, C. Marchetti, International Institute for Applied Systems Analysis Schlossplatz 1 A-2361 Laxenburg, Austria. Lecture held at the Brazilian Academy of Sciences in Rio de Janeiro on November 11, 1986.
- [59] Minqi Li, “The Rise of China and the Demise of the Capitalist World-Economy”. London: Pluto Press; New York: Monthly Review Press (November 2008 / January 2009).
- [60] Simon Kuznets, The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel, December 11, 1971.
- [61] “Economía Política y evaluación de la situación internacional”, Conferencia Dr. Jorge Antonio Montemayor Aldrete, Porfirio Martínez González, Marcelo del Castillo Mussot y Pablo Ugalde Vélez. IV FORO NACIONAL SOBRE JUSTICIA, SINDICALISMO EN DEFENSA DE LA TIERRA Y LOS DERECHOS HUMANOS. Tepic, Nayarit, los días 16 y 17 de julio de 2011.
- [62] “A Simple Mathematical Model for War Events”, C. Marchetti, *Histoire & Measure*, 1992, VII-3/4,297-312.
- [63] “The Varieties of Scientific Experience”. C. Sagan 2006, page 35 (New York, NY: Penguin Press). Cited in *Asian J. Exp. Sci.*, Vol. 21, No. 2, 2007, 179-192, by John Cairns, Jr.
- [64] “Past peak oil - life after cheap fossil fuels”, by Professor Bulent Gokay, of International Relations at Keele University, in the UK. 04 August 2011. www.publicserviceeurope.com/article/705/past-peak-oil-life-after-cheap-fossil-fuels

- [65] “Ignoring peak oil and scarcity - political myopia?” por Richard O'Rourke quien es director de Association for the Study of Peak Oil, en Irlanda. September 2011. www.publicserviceeurope.com/article/785/ignoring-peak-oil-and-scarcity-politicalmyopia
- [66] Solow, Robert M. (1956). “A Contribution to the Theory of Economic Growth”. *Quarterly Journal of Economics* (The MIT Press) 70 (1): 65, 94.
- [67] “Energy Efficiency: Engine of Economic Growth”, Jamie Howland, Derek Murrow, Lisa Petraglia and Tyler Comings. http://www.env-ne.org/public/resources/pdf/ENE_EnergyEfficiencyEngineofEconomicGrowth_FINAL.pdf
- [68] “Economic Growth and Energy”, David I. Stern, *Encyclopedia of Energy*, Volume 2, 2004 , 35-51.
- [69] “Economic Growth and Energy”, David I. Stern <http://www.localenergy.org/pdfs/Document%20Library/Stern%20Energy%20and%20Economic%20Growth.pdf>
- [70] IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 www.ipcc.ch/publications_and.../contents.html
- [71] 2008 Report Shows 37% CO2 Increase since Industrial Revolution. www.japanfs.org/en/pages/029314.html
- [72] Global warming “past the point of no-return” By Steve Connor, Science Editor Friday, 16 September 2005, *The Guardian*.
- [73] Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions Susan Solomon, Gian-Kasper Plattner, Reto Knutti, and Pierre Friedlingstein 1704–1709 *PNAS* February 10, 2009 vol. 106 no. 6. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0812721106
- [74] Overview Preface to the IPCC Overview,1990. http://www.ipcc.ch/ipccreports/1992%20IPCC%20Supplement/IPCC_1990_and_1992_Assessments/English/ipcc_90_92_assessments_far_overview.pdf IPCC 1990 First Assessment Report Overview ChapterPDF
- [75] “Study: Global Warming Near Critical Level”, Sara Goudarzi Date: 25 September 2006 Time: 01:15 PM ET <http://www.livescience.com/1023-study-global-warming-critical-level.html>
- [76] “Paleoclimate Record Points Toward Potential Rapid Climate Changes”, Patrick Lynch, INTERVIEW TO NASA’s Goddard Institute for Space Studies director James E. Hansen, NASA 12.08.11 <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/rapid-change-feature.html>
- [77] “Game Over for the Climate”, James Hansen, *New York Times*, May 9, 2012.

- [78] “The Future Eaters: Metaphors and Aphorisms as Environmental Teaching Tools”, A collection of papers by John Cairns, Jr. First website posting: November 2009 Contact information for the author: Professor Emeritus John Cairns, Jr. Department of Biological Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia 24061 USA Telephone: 540-231-8010, e-mail: jcairns@vt.edu, website: johncairns.net
- [79] Lovelock, J. 2009. *The Vanishing Face of Gaia: A Final Warning*. Basic Books, New York, NY.
- [80] BBC NEWS — Business — Richest 2 <http://news.bbc.co.uk/2/hi/6211250.stm>
- [81] Glantz A. (2006) : Richest 2 percent own half the world’s wealth. Common Dreams News Center 22 Dec. www.commondreams.org/.../1222-04.htm
- [82] “Peak oil are we sleepwalking into disaster?”, Dean Carroll, 22 July 2011. www.publicserviceeurope.com/article/655/peak-oil-are-we-sleepwalking-intodisaster
- [83] Food, Land, Population and the U.S. Economy, Executive Summary, Pimentel, David and Giampietro, Mario. Carrying Capacity Network, 11/21/1994. <http://www.dieoff.com/page40.htm>
- [84] FOOD, LAND, POPULATION and the U.S. ECONOMY <http://dieoff.org/page40.htm>, David Pimentel of Cornell University and Mario Giampietro Istituto of Nazionale della Nutrizione, Rome
- [85] Reducing Energy Inputs in the Agricultural Production System. David Pimentel, July-August 2009 <http://monthlyreview.org/090803pimentel.php>
- [86] Energy Use in Agriculture: An Overview Pimentel, D. Pimentel, M. Karpenstein-Machan, M. Szrednicki, G.S. Driscoll, R.H., Invited article from International Commission of Agricultural Engineering (CIGR, Commission Internationale du Genie Rural) E-Journal Volume 1 (1999).
- [87] “Food Versus Biofuels: Environmental and Economic Costs”, David Pimentel, Alison Marklein, Megan A. Toth, Marissa N. Karpoff, Gillian S. Paul, Robert McCormack. Joanna Kyriazis & Tim Krueger. Hum Ecol. DOI 10.1007/s10745-009-9215-8.
- [88] . FAO Media Centre: Tight cereal markets as food prices increase again. Recent oil price surge adds to concerns over high food prices <http://www.fao.org/news/story/en/item/51913/icode/>
- [89] “Food price transmission: rising international cereals prices and domestic markets”, Sharada Keats, Steve Wiggins, Julia Compton and Marcella Vigneri <http://www.odi.org.uk/resources/docs/6240.pdf>
- [90] “Poverty Facts and Stats”, Anup Shah, This Page Last Updated Monday, September 20, 2010. <http://www.globalissues.org/print/article/26>

- [91] "Food and life cycle energy inputs: consequences of diet and ways to increase efficiency", Annika Carlsson-Kanyama a,* , Marianne Pipping Ekström, Helena Shanahan , *Ecological Economics* 00 (2003). Article in press. http://www.fraw.org.uk/files/food/carlsson-kanyama_et_al-2003.pdf
- [92] *Livestock & the environment: Finding a balance*, Chapter 2: Livestock grazing systems & the environment, Cees de Haan, Henning Steinfeld Harvey Blackburn; FAO Corporate Document Repository, retrieved 4 December 2009.
- [93] "Constraints on the Expansion of the Global Food Supply", H. W. Kindall and D. Pimentel, from *Ambio* Vol.23 No. 3, May 1994. <http://dieoff.org/page36.htm>
- [94] "Human Appropriation of the Products of Photosynthesis", P.M. Vitousek, P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich and P. A. Matson. Review work, *Bioscience*, vol. 36, No 6 (1986), pp. 368-373
- [95] "Global use of agricultural biomass for food and non-food purposes: Current situation and future outlook", S. Wirsenius <http://www.sik.se/traditionalgrains/review/0ral%20presentation%20PDF%20files/Wirsenius.pdf>
- [96] Postel, S.L. (1998). Water for food production: will there be enough in 2025? *Bioscience* 48: 629-637.
- [97] A Water Resources Threshold and Its Implications for Food Security, Hong Yang , Peter Reichert, Karim C. Abbaspour , and Alexander J. B. Zehnder , *Environ. Sci. Technol.* 2003, 37, 3048-3054
- [98] "Appraisal and Assessment of World Water Resources", I. A. Shiklomanov, *Water International*, Volume 25, Issue 1, 2000 , pp. 11-32
- [99] "Entering an Era of Water Scarcity: The Challenges Ahead", Author(s): Sandra L. Postel . *Ecological Applications*, Vol. 10, No. 4 (Aug., 2000), pp. 941-948.
- [100] Cohen, J. E. 1995. "How many people can the earth support?", W. W. Norton, New York, New York,
- [101] "Present state and future prospects for groundwater ecosystems", Dan L. Daniel OPOL, Christian Griebler, Amara Gunatilaka and Josnotenboom. *Environmental Conservation* (2003), 30 : pp 104-130
- [102] Igor Shiklomanov "World fresh water resources", Peter H. Gleick (editor), 1993, *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*.
- [103] Where is Earth's water located? <http://ga.water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>
- [104] WATER AND WASTEWATER Dupont, Sulzer Technical Review 3/2011 page 4356

- [105] Global depletion of groundwater resources Yoshihide Wada, Ludovicus P. H. van Beek, Cheryl M. van Kempen, Josef W. T. M. Reckman, Slavek Vasak, and Marc F. P. Bierkens *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 37, L20402, doi:10.1029/2010GL044571, 2010.
- [106] “Global-groundwater-depletion-rates-1900-2008”, <http://www.visualizing.org/datasets/global-groundwater-depletion-rates-1900-2008>
- [107] Yoshihide Wada, Ludovicus P. H. van Beek, Frederiek C. Sperna Weiland, Benjamin F. Chao, Yun-Hao Wu, and Marc F. P. Bierkens *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 39, L09402, doi:10.1029/2012GL051230, 2012.
- [108] “Groundwater Depletion: The End of Agriculture As We Know It?”, By Bob Morris on 06/14/2012 in California, Energy and Water, Policy Reform, Texas <http://ivn.us/2012/06/14/groundwater-depletion-the-end-agriculture-know-it/>
- [109] “Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley”, Bridget R. Scanlona, Claudia C. Fauntb, Laurent Longuevergne, Robert C. Reedy, William M. Alley, Virginia L. McGuire, and Peter B. McMahon www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1200311109 PNAS
- [110] “China faces up to groundwater crisis”, Jane Qiu Published online 13 July 2010 — *Nature* 466, 308 (2010) — doi:10.1038/466308a
- [111] “Satellite-based estimates of groundwater depletion in India”, Matthew Rodell, Isabella Velicogna & James S. Famiglietti Vol. 460—20 August 2009—doi:10.1038/nature08238
- [112] An American Sahara? <http://www.waterinfo.org/june-13-2007-an-american-sahara-latin-america-press>
- [113] “Non-sustainable groundwater sustaining irrigation”, Yoshihide Wada, Utrecht University, The Netherlands. February 13, 2012. In Hydrology, Water and Agriculture. [http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:XrwQLt2ZwmGJ:scholar.google.com/+E2%80%9Cnonsustainable+groundwater+sustaining+irrigation%E2%80%9D+\(pdf\)&hl=es&as_sdt=0,5](http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:XrwQLt2ZwmGJ:scholar.google.com/+E2%80%9Cnonsustainable+groundwater+sustaining+irrigation%E2%80%9D+(pdf)&hl=es&as_sdt=0,5)
- [114] POPULATION GROWTH ON FOOD SUPPLIES AND ENVIRONMENT by David Pimentel, Xuewen Huang, Ana Cordova, and Marcia Pimentel <http://dieoff.org/page57.htm>
- [115] Threats to the running water ecosystems of the world Bjrn Malmqvist AND Simon Rundle, *Environmental Conservation* 29 (2)2002: 134–153.
- [116] Human Population Numbers as a Function of Food Supply Russell Hopfenberg and David Pimentel, March 6 2001 http://www.mnforsustain.org/pimentel_hopfenberg_human_population_food_supply.htm

- [117] An Exploratory Model of the Impact of Rapid Climate Change on the World Food Situation Author(s): Gretchen C. Daily and Paul R. Ehrlich Source: Proceedings: Biological Sciences, Vol. 241, No. 1302 (Sep. 22, 1990), pp. 232-244
- [118] . Climate shifts “hit global wheat yields” By Mark Kinver Science and environment reporter, BBC News, 6 May 2011 <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-13297004>
- [119] Rice yields “to fall” under global warming By Richard Black Environment correspondent, BBC News, 9 August 2010 <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-10918591>
- [120] TROPICAL AGRICULTURE AND GLOBAL WARMING: IMPACTS AND MITIGATION OPTIONS. Carlos Eduardo P. Cerri; Gerd Sparovek; Martial Bernoux; William E. Easterling; Jerry M. Melillo; Carlos Clemente Cerri. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.64, n.1, p.83-99, January/February 2007
- [121] “Studies: Climate Change will threaten Global Wheat Harvest”, Peter Sinclair <http://climatecrocks.com/2012/01/31/studies-climate-change-will-threaten-wheat-harvest/>
- [122] “Adapting North American agriculture to climate Change”, in review, William E. Easterling *Agricultural and Forest Meteorology* 80 (1996) 1-53
- [123] “Climate Change Causes Global Wheat Shortage, Food Price Hikes”, Wednesday, September 03, 2008 by: David Gutierrez, staff writer http://www.naturalnews.com/024066_food_wheat_climate_change.html
- [124] “Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions”, T. P. Barnett, J. C. Adam & D. P. Lettenmaier *Nature* 438, 303-309 (17 November 2005) — doi:10.1038/nature04141
- [125] Global pattern of trends in stream flow and water availability in a changing climate. P. C. D. Milly¹, K. A. Dunne¹ & A. V. Vecchia² *Vol* 438—17 November 2005—doi:10.1038/nature04312
- [126] “Model Projections of an Imminent Transition to a More Arid Climate in Southwestern North America”, Richard Seager, Mingfang Ting, Isaac Held, Yochanan Kushnir, Jian Lu, Gabriel Vecchi, Hwei-Ping Huang, Nili Harnik, Ants Leetmaa, Ngar-Cheung Lau, Cuihua Li, Jennifer Velez, Naomi Naik. *Science* 316, 1181 (2007).
- [127] Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busiuc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L.Mearns, C.G. Menéndez, J. R. is nen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter11.pdf>

- [128] “Decreasing Biodiversity”, Vision of humanity. <http://www.visionofhumanity.org/info-center/vision-of-humanity-themes/our-environment/decreasing-biodiversity/>
- [129] “LIVING PLANET REPORT 2004”, World Wildlife Fund. EDITORS Jonathan Loh, and Mathis Wackernagel
- [130] “Steel and energy” http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/fact-sheets/Fact-sheet_Energy/document/Fact%20sheet_Energy.pdf
- [131] “Steel and raw materials”, World steel organization http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/fact-sheets/Fact-sheet_Raw-materials2011/document/Fact%20sheet_Raw%20materials2011.pdf
- [132] “World crude steel output increases by 15 % in 2010” <http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2011/2010-world-steel-output.html>
- [133] COAL & CEMENT <http://www.worldcoal.org/coal/uses-of-coal/coal-cement/>
- [134] ON THE SUSTAINABILITY OF THE CONCRETE <http://vmjohn.pcc.usp.br/Arquivos/0n%20the%20Sustainability%20of%20the%20Concrete.pdf>
- [135] HOW SUSTAINABLE IS CONCRETE? By Leslie Struble & Jonathan Godfrey <http://www.cptechcenter.org/publications/sustainable/strublesustainable.pdf>
- [136] Review: What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have? Charles A. S. Hall, Stephen Balogh and David J. R. Murphy *Energies* 2009, 2, 25-47; doi:10.3390/en20100025
- [137] Hall, C.A.S.; Powers, R.; Schoenberg, W. “Peak Oil, EROI, Investments and the Economy in an Uncertain Future”. In *Renewable Energy Systems: Environmental and Energetic Issues*. Pimentel, D., Ed.; Elsevier: London, 2008; pp. 113-136. 137-138 son 129-130
- [138] “A Dynamic Function for Energy Return on Investment”, Michael Dale, Susan Krumdieck and Pat Bodger. *Sustainability* 2011, 3, 1972-1985; doi:10.3390/su3101972
- [139] Costanza, R.; Cleveland, C.J. *Ultimate Recoverable Hydrocarbons in Louisiana: A Net Energy Approach*; Louisiana State University: Baton Rouge, LA, USA, 1983.
- [140] Cook, E. Limits to exploitation of nonrenewable resources. *Science* 1976, 191, 677-682.
- [141] Brandt, A.R. The Effects of Oil Depletion on the Energy Efficiency of Oil Production: Bottom-up Estimates from the California Oil Industry. *Sustainability*, 2011, 3, 1833-1854.

- [142] Net energy from the extraction of oil and gas in the United States. Cutler J. Cleveland, *Energy* 30 (2005) 769–782
- [143] Enlace: <http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=p&f=mcrf&f=a>
- [144] File: Oil price chronology-june2007.gif - Wikipedia, the free encyclopedia
- [145] The Energy Return on Investment Threshold Posted by David Murphy on November 25, 2011 - 7:55am <http://www.theoildrum.com/node/8625>
- [146] Searching for a Miracle [The Conservation Impretive], Richard Heinberg, Foreword by Jerry Mander. A Joint Project of the International Forum on Globalization and the Post Carbon Institute. [False Solution Series #4], September 2009.
- [147] PEAKING OF WORLD OIL PRODUCTION: IMPACTS, MITIGATION, & RISK MANAGEMENT. Robert L. Hirsch, SAIC, Project Leader, Roger Bezdek, MISI Robert Wendling, MISI. February 2005. http://www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/oil_peaking_netl.pdf
- [148] CARBON DISCLOSURE PROJECT, South African business: shifting the focus to performance. CDP South Africa 100 Climate Change Report 2012. [Ref]. “Unburnable Carbon Rational Investment for Sustainability”, by nef: economics as if people and the planet mattered. 5 Sept. 2012. http://www.neweconomics.org/sites/neweconomics.org/files/UnburnableCarbon_WEB.pdf
- [149] “Climate Vulnerability Monitor: A Guide to the Cold Calculus of a Hot Planet (2nd Edition)”, Climate Vulnerable Forum. Copyright, Fundación DARA Internacional 2012. GENEVA OFFICE International Environment House 2/MIE2, 7-9 Chemin de Balxert, Chtelaine CH-1219 Geneva– Switzerland.
- [150] Hydroelectricity, Wikipedia, the free encyclopedia <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity>
- [151] Chernobyl disaster, Wikipedia, the free encyclopedia
- [152] Accidente de Fukushima http://www.world-nuclear.org/info/fukushima_accident_inf129.html
- [153] Chernobyl Exclusion Zone, Wikipedia, the free encyclopedia
- [154] Enlace <http://www.nature.com/srep/2012/120525/srep00416/full/srep00416.html>
- [155] List of disasters by cost, Wikipedia, the free encyclopedia
- [156] <http://newsonjapan.com/html/newsdesk/article/89987.php>

- [157] Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE) , 2005. http://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/pdfs/ege_report.pdf
- [158] Accidente de Fukushima http://www.world-nuclear-news.org/NP-Japan_France_consider_nuclear_power_costs-0811114.html
- [159] Enlace <http://www.globalresearch.ca/the-trillion-dollar-costs-of-a-nuclear-catastrophe/24448>
- [160] ENERGY USE IN AGRICULTURE: AN OVERVIEW (1999). By David Pimentel, Marcia Pimentel, and Marianne Karpenstein-Machan <http://dspace.library.cornell.edu/bitstream/1813/10204/1/Energy.pdf>
- [161] Christopher B. Field, J. Elliott Campbell and David B. Lobell (2007). "Biomass energy: the scale of the potential resource". Trends in Ecology and Evolution Vol.23 No.2. pages 65-72.
- [162] Cristina L. Archer and Mark Z. Jacobson. (2005). "Evaluation of Global Wind Power", http://www2.ewea.org/newsletter/Documents/2005/BB_05_06/News_in_Brief/0412_Standford_university_Archer_Wind_Power_map.pdf
- [163] Monique Hoogwijk , Bert de Vries , Wim Turkenburg "Assessment of the global and regional geographical, technical and economic potential of onshore wind energy", Energy Economics 26 (2004) 889–919.
- [164] Henrik Lund, (2007). "Renewable Energy Strategies for Sustainable Development", Energy 32 (2007) 912–919. Or http://vbn.aau.dk/files/156708/240_Lund.pdf
- [165] "Presenta Calderón mapa para potenciar energía eólica en México", Tendencias 7 Diciembre 2010 - 6:14pm, Lorena López, enviada Milenio <http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/75b72844da8089d57a31be8af1aa98ac>
- [166] K. Branker, M.J.M. Pathak and J.M. Pearce. "A review of solar photovoltaic leveled cost of electricity", Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 4470–4482.
- [167] J.M. Pearce, P.J. Harris. "Reducing greenhouse gas emissions by inducing energy conservation and distributed generation from elimination of electric utility customer charges", Energy Policy 35 (2007) 6514–25.
- [168] "Photovoltaic Module Performance and Durability Following Long-Term Field Exposure". D. L. King, M. A. Quintana, J. A. Kratochvil, D. E. Ellibe, and B. R. Hansen. Sandia National Laboratories Albuquerque, NM 87185-0752 www.sandia.gov/pv/ <http://www.cleanenergy.com.ph/projects/CBRED/TA%20RE%20Manufacturers%20SubContract/Compendium%20of%20References/Solar%20References/Collection%20of%20Solar%20Standards%20and%20Articles/C13%20PV%20module%20performance%20and%20durability.pdf>

- [169] J.A. Montemayor-Aldrete , C. Vázquez-Villanueva , P. Ugalde-Vélez, M. del Castillo-Mussot , G.J. Vázquez-Fonseca , A. Mendoza-Allende , H.A. Coyotécatl . “Non-equilibrium statistical theory for electromigration damage”. *Physica A* 387 (2008) 6115-6125.
- [170] U.S. Department of Energy Advanced Research Projects Agency-Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy 1/W Photovoltaic Systems. White Paper to Explore: “A Grand Challenge for Electricity from Solar” (2010). http://www1.eere.energy.gov/solar/sunshot/pdfs/dpw_white_paper.pdf
- [171] Z. Xia, Q.Y. Chen, K.B. Ma, C.K. Mc Michael, M. Lamb, R.S. Cooley, P.C. Fowler and W.K. Chu. (1995). “Design of Superconducting Magnetic Bearings with High Levitating Force for Flywheel Energy Storage Systems” *IIE TRANSACTION ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY* , 5 (1995) 622-625.
- [172] Takumi Ichihara, Koji Matsunaga, Makoto Kita, Izumi Hirabayashi, Masayuki Isono, Makoto Hirose, Keiji Yoshii, Kazuaki Kurihara, Osamu Saito, Shinobu Saito, Masato Murakami, Hirohumi Takabayashi, Mitsutoshi Natsumeda, and Naoki Koshizuka. (2004). “Application of Superconducting Magnetic Bearings to 10 kWh class Flywheel Energy Storage System” <http://www.asl.ee.meisei-u.ac.jp/hoshino/conference/asc04/collected/2LG02.pdf>
- [173] Bjorn Bolund Hans Bernhoff, Mats Leijon “Flywheel energy and power storage systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11 (2007) 235–258
- [174] Andre-Moliton and Jean-Michel Nunzi. “Review How to model the behaviour of organic photovoltaic cells”, *Polym Int* 55(2006)583–600.
- [175] B. Zalba, J. M. Marín, L. F. Cabeza ,H. Mehling, “Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications”, *Applied Thermal Engineering* 23 (2003) 251–283.
- [176] M. M. Farid, A. M. Khudhair , S. Ali K. Razack, S. Al-Hallaj “A review on phase change energy storage: materials and applications”, *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 1597–1615.
- [177] Ulf Herrmann, Bruce Kelly, Henry Price “Two-tank molten salt storage for parabolic trough solar power plants”, *Energy* 29 (2004) 883–893.
- [178] Franz Trieb, Ole Langni?, Helmut Klai? “Solar electricity generation—A comparative view of technologies, costs and environmental impact”, *Solar Energy*, 59,(1997) 89–99.
- [179] Henry Price, David Kearney, “Reducing the cost of energy from parabolic trough solar power plants”. (2003). National Renewable Energy Laboratory. NREL/CP-550-33208.
- [180] Abdeen Mustafa Omer (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.12 (2008) 2265–2300.

- [181] Energy and the Built Environment http://www.indiana.edu/~sustain/Energy_and_Built_Environment/index.html
- [182] Overview (2012) Environmental Protection Agency, USA GOV. <http://www.epa.gov/greenhomes/overview.htm>
- [183] Odón de Buen, “La Experiencia de México en Ahorro de Energía” Julio del 2005, Santiago de Chile. <http://www.cepal.org/drni/noticias/noticias/2/22062/0don.pdf>
- [184] “How much electricity does my television use?” (2010). <http://michaelbluejay.com/electricity/tv.html>
- [185] “Compact fluorescent light bulbs (CFL’s)” <http://michaelbluejay.com/electricity/cfl.html>
- [186] Hogares y Consumo Energético en México. Landy Sánchez Peña, Revista Digital Universitaria, 1 de octubre 2012, Volumen 13 Número 10.
- [187] I. Sánchez R., Investigadora, IIE México, y H. Pérez R., investigador, IIE México. “Potencial de ahorro energético por mejora en el consumo de potencia en espera de equipos electrónicos en hogares y oficinas. Recomendaciones normativas.” CONCAPAN XXXI, IEEE, Sección El Salvador. El Salvador, Noviembre 2011 http://www.ieee.org.sv/concapan/descargas/memoria_secciones/Jueves_10/chaparrastique/P71.pdf
- [188] “Energy efficient heating”, <http://www.sa.gov.au/subject/Water,+energy+and+environment/Energy/Energy+efficiency/Home+energy+efficiency/Heating+and+cooling/Energy+efficient+heating>
- [189] “Fact Sheet 12: Energy From Waste”, Sally-Anne Rowlands, Katrina Lyon and Philip Jennings of Murdoch University, and Ralph Sims of Massey, University, with the assistance of Prakash Dubey of the Australian Co-operative Research Centre for Renewable Energy, for the Waste Management and Recycling Fund of Western Australia (April 2001). It was reworked by Christine Creagh (2004, Murdoch University) and edited by Philip Jennings (Murdoch University) and Mary Dale (Australian Institute of Energy). http://aie.org.au/Content/NavigationMenu/Resources/SchoolProjects/FS12_ENERGY_FROM_WASTE.pdf Natural Capitalism The Next Industrial Revolution Paul Hawken, Amory B. Lovins L. Hunter Lovins Rocky Mountain Institute. Publisher: Earthscan Paperback, 2010. ISBN: 9781844071708 -
- [190] “BP Statistical Review of World Energy. June 2012”, bp.com/statisticalreview
- [191] “What a waste: a global review of solid waste management. Waste Generation”, <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/Chap3.pdf>
- [192] Gold – Wikipedia, the free encyclopedia

- [193] Gold, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gold/mcs-2012-gold.pdf>
- [194] World Production of Gold 2011 <http://news.goldseek.com/Dani/1309290922.php>
- [195] Rafael Bolívar Grimaldos. Ing. Metalúrgico UIS. Magister Ciencia de Materiales UNC. Dr. Ing. Industrial UPV. “Extracción de oro por minería a cielo abierto”, <http://www.monografias.com/trabajos89/extraccion-oro-mineria-cielo-abierto-mca/extraccion-oro-mineria-cielo-abierto-mca.shtml>
- [196] Angélica Enciso L. “Actividad minera, veta de desastre ambiental”, <http://www.jornada.unam.mx/2011/12/30/sociedad/036n1soc>
- [197] Israel Rodríguez, “Empresas extranjeras duplican la extracción de oro del país en 6 años”, <http://www.jornada.unam.mx/2012/07/24/economia/027n1eco>
- [198] Lori Spechler Senior Editor, CNBC “Gold: Cost of Production”, http://www.cnbc.com/id/41058173/Gold_Cost_of_Production
- [199] T.I. Mudder, M.M. Botz, “Cyanide and society: a critical review”, The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, Vol. 4, No. 1, 1303-0868, 2004, pp. 62-74.
- [200] B.Yarar. “Cyanides in the Environment and Their Long-Term Fate”, TT*1 International Mining Congress and Exhibition of Turkey IMCET2001, 2001.
- [201] “More transparency needed on gold production cost, says Blackrock”, ALEX MACDONALD, DOW JONES NEWSWIRES DECEMBER 05, 2012:7:59AM, The Australian. <http://www.theaustralian.com.au/business/mining-energy/more-transparency-needed-on-gold-production-cost-says-blackrock/story-e6fgr9df-1226530183032>
- [202] “Gold Mining”. 2013 BullionVault. <http://www.bullionvault.com/guide/gold/Gold-mining#section-Gold-mining-GoldMiningAbundanceOfOre>
- [203] Mike Botz, P.E.and Terry Mudder “Modeling of Natural Cyadine Attenuation in Tailings Impoundments”, Mineral and Metallurgical Processing, Vol. 17, No. 4, pp. 228-233, November 2000.
- [204] “ Cyanide Training, Proper care and handling of sodium-carbon-nitrogen compounds”, To comply with the International Cyanide Management Code. (Dupont December 4, 2012) www.usmra.com/...cyanide/CyanideShort.ppt
- [205] “Dirty Gold Mining Practices”, <http://www.brilliantearth.com/dirty-gold-mining-methods/>
- [206] “Poisoned Waters”, http://www.nodirtygold.org/poisoned_waters.cfm

- [207] S.M.E. Meehan, T.R. Weaver and C.R. Lawrence. "The biodegradation of cyanide in groundwater at gasworks sites, Australia: implications for site management". *Environmental Management and Health* 10/1 [1999] 6471. MCB University Press [ISSN 0956-6163]
- [208] Esmee Jerez "Cyanide Geochemistry—University of Manitoba", www.umanitoba.ca/.../Cyanide%20Geochemistry... O también en http://es.scribd.com/esmee_jerez
- [209] "The Berlin-Declaration on Gold Mining Further Observations and Comments on the Cyanide Process to Produce Gold", Prof. Dr. F. Korte, Munich, Germany, Prof. Dr. F. Coulston, Alamogordo, New Mexico, USA <http://korte-goldmining.infu.uni-dortmund.de/berldeclit.html> Y también: "On ecological and human right consequences on cyanide based gold mining", http://korte-goldmining.infu.uni-dortmund.de/news13_11.html
- [210] "Rio Declaration on Environment and Development", The United Nations Conference on Environment and Development, Having met at Rio de Janeiro from 3 to 14 June 1992. <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=78&articleid=1163>
- [211] "Desarrollo del sector minero en México y perspectiva empresarial" http://academiadeingenieriademexico.mx/archivos/v_congreso/geologia/ing_xavier_garcia_de_quevedo-desarrollo_del_sector_minero.pdf
- [212] El complejo Peñasquito, es la mayor mina de oro de América, y está en uno de los municipios más pobres de México. 5 enero, 2009 <http://zapateando2.wordpress.com/2009/01/05/el-complejo-penasquito-la-mayor-mina-de-oro-de-america-esta-en-uno-de-los-municipios-mas-pobres-de-mexico/>
- [213] Proyecto de Destrucción Masiva: Mina Peñasquito de Goldcorp Latinoamérica - México JUEVES 12 DE AGOSTO DE 2010 12:34 <http://www.noalamina.org/mineria-latinoamerica/mineria-mexico/proyecto-de-destruccion-masiva-mina-penasquito-de-goldcorp>
- [214] Berkeley Pit - Wikipedia, the free encyclopedia
- [215] Waste-to- Energy in Denmark <http://viewer.zmags.com/showmag.php?mid=wsdps>
- [216] Electricity sector in Denmark http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_sector_in_Denmark
- [217] Energy in Denmark: International Energy Statistics <http://www.nationmaster.com/country/da-denmark/ene-energy>
- [218] "Packaging waste statistics", http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/images/4/4b/Shares_of_packaging_waste_generated_by_weight%2C_EU-27_2008_%28in_%25%29.PNG

- [219] "100 YEARS OF WASTE INCINERATION IN DENMARK.", By Heron Kleis, Babcock & Wilcox Vlund and Sren Dalager, Rambll <http://www.stateofgreen.com/Cache/62/6294d5b6-54ba-4844-b639-b92e7ff94891.pdf>
- [220] "Sweden imports waste from European neighbors to fuel waste-to-energy Program", <http://www.pri.org/stories/science/environment/swedes-import-trash-to-power-the-nation-10428.html>
- [221] "Sweden wants Norway's trash (and lots of it)", October 28th, 2012 in Technology / Energy & Green Tech <http://phys.org/print270658041.html>
- [222] "Waste Management in Latin America", Finpro Mexico, February 2010. www.finnpartnership.fi/_kehityksmaatieto_/_/.../
- [223] "Piden en ONU a Europa y EU abandonar la producción de los biocombustibles". AFP Y REUTERS Periódico La Jornada. Jueves 18 de octubre de 2012, p. 29.
- [224] "FAO pide a EU suspender producción de etanol", El Economista, 10/08/2012. eleconomista.com.mx/.../eu-no-debe-producir-etanol-maiz-evitar-crisis...
- [225] "CEO de multinacional predice una gran crisis alimentaria, peor que la de 2008", <http://fortunaweb.com.ar/2012-08-15-101503-nestle-predice-una-gran-crisis-alimentaria/>
- [226] "Paren esta locura ya: Los automóviles nos dejan sin alimentos", por Robert Bryce, 20 agosto del 2012. <http://www.granma.cu/espanol/internacional/20agosto-paren.html>
- [227] "Cornell ecologist's study finds that producing ethanol and biodiesel from corn and other crops is not worth the energy", By Susan S. Lang del Cornell University News Service, 5 Julio del 2005. <http://www.news.cornell.edu/stories/july05/ethanol.toocostly.ssl.html>
- [228] "Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunower", David Pimentel and Tad W. Patzek, Natural Resources Research, Vol. 14, No. 1, March 2005 (2005). DOI: 10.1007/s11053-005-4679-8
- [229] "An interview with David Pimentel", By Tom Philpott , 6 diciembre del 2006. <http://grist.org/article/philpott2/>
- [230] Oil Palm Plantations and Deforestation in Indonesia. What Role Do Europa and Germany Play? A report by WWF Germany in collaboration with WWF Indonesia and WWF Switzerland, November 2002.
- [231] "Rain Forest for Biodiesel? Ecological effects of using palm oil as a source of Energy". http://awsassets.panda.org/downloads/wwf_palmoil_study.pdf

- [232] “Forests”, http://www.wwf.org.my/about_wwf/what_we_do/forests_main/
- [233] “Palm oil & forest conversion”, http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/agriculture/palm_oil/environmental_impacts/forest_conversion/
- [234] “Causas y Efectos de los LLamados Biocombustibles. Alarma en Sector Ganadero” Alfonso Raffin del Riego. Director Mundial de Desarrollo Ganadero de Danone.Voluntario de Veterinarios sin Fronteras. Asociado de ANEM-BE, miembro de G-TEMCAL y del Comité Organizador de Expoáviga. Grupo Iberoamericano de Estudio de Biocarburantes y Grupo de estudio de Bionegocios. alfonso.raffin@danone.com y alfonso.raffin@telefonica.net <http://www.rebellion.org/docs/61329.pdf>
- [235] “Causas y Efectos de los LLamados Biocombustibles. Alarma en Sector Ganadero”, Alfonso Raffin del Riego. Director Mundial de Desarrollo Ganadero de Danone. http://www.plataformarural.org/index.php?option=com_content&view=article&id=162&Itemid=164
- [236] “Obama speech to let Alberta move faster on climate change: Ministers” , Feb 14, 2013 Bob Weber, The Canadian Press. <http://www.canadianbusiness.com/business-news/obama-speech-to-let-alberta-move-faster-on-climate-change-ministers/>
- [237] “Obama supports TransCanada’s bid to push ahead with part of oil pipeline”. Suzanne Goldenberg, US environment correspondent guardian.co.uk, Monday 27 February 2012 21.27 GMT <http://www.guardian.co.uk/environment/2012/feb/27/obama-transcanada-keystone-xl-pipeline>
- [238] . “The Tar Sands Catastrophe”. 2013, Respect Aboriginal Values and Environmental Needs (R.A.V.E.N) <http://www.raventrust.com/thetarsandscatastrophe.html>
- [239] “Tar Sands Oil is Really Bad Stuff”, Feb29, 2012. By Ed Brayton. <http://freethoughtblogs.com/dispatches/2012/02/29/tar-sands-oil-is-really-bad-stuff/>
- [240] The Dilbit Disaster: Inside The Biggest Oil Spill You’ve Never Heard Of, Part 2 By Elizabeth McGowan and Lisa Song, InsideClimate News, Jun 27, 2012. <http://insideclimatenews.org/news/20120627/dilbit-kalamazoo-marshall-oil-spill-bitumen-enbridge-patrick-daniel-6b-pipeline-epa-tar-sands>
- [241] IMPORTING DISASTER. The Anatomy of Enbridges Once and Future Oil Spills, National Wildlife Federation, 2012. http://nwcoastenergynews.com/wp-content/uploads/2012/07/NWF_EnbridgeOilSpill_LoResRevised.pdf
- [242] “TransCanada Keystone Pipeline Springs 21 Leaks in Canada” <http://madvilletimes.com/2011/07/transcanada-keystone-pipeline-springs-21-leaks-in-canada/>
- [243] Dilbit, what is it? Posted on December 17, 2012by Grady Semmens <http://blog.transcanada.com/dilbit-what-is-it/>

- [244] “Clarification /Rebutal of tarsands pipeline sunset testimony”, Submitted by the East Texas Sub-Regional Planning Commision (ETRSPC) representing the cities of Gallatin, Reklaw and Alto. Rita Beving, Consultant, December 20, 2012. <http://www.sunset.state.tx.us/83rd/rc/responses/153.pdf>
- [245] “National Academy of Sciences Identifying safety issues with diluted bitumen pipelines”, Anthony Swift, Attorney, International Program Natural Resources Defense Council. July 23,2012
- [246] The Enbridge Michigan Pipeline Oil Spill–Some Clues as to What May Have Happened Posted by Gail the Actuary on August 14, 2010 - 10:40am <http://www.theoil drum.com/node/6848>
- [247] Pipeline and Tanker Trouble The Impact to British Columbia’s Communities, Rivers, and Pacific Coastline from Tar Sands Oil Transport November 2011. Authors Anthony Swift, Natural Resources Defense Council Nathan Lemphers, Pembina Institute, Susan Casey-Lefkowitz, Natural Resources Defense Council, Katie Terhune, Living Oceans Society Danielle Droitsch, Natural Resources Defense Council, A Swift, N Lemphers, S Casey-Lefkowitz, K Terhune – 2011 - pubs.pembina.org
- [248] Jim Hansen arrest at White House tar sands pipeline protest: “We had a dream”, Posted on September 2, 2011 by Climate Science Watch <http://www.climate science watch.org/2011/09/02/jim-hansen-arrest-at-white-house-tar-sands-pipeline-protest/>
- [249] “NASA’s Hansen Explains Decision to Join Keystone Pipeline Protests”, By Elizabeth McGowan, InsideClimate News. Aug 29, 2011. <http://insideclimatenews.org/news/20110826/james-hansen-nasa-climate-change-scientist-keystone-x1-oil-sands-pipeline-protests-mckibben-white-house>
- [250] “Game Over for the Climate”, By JAMES HANSEN. Published: May 9, 2012. http://www.nytimes.com/2012/05/10/opinion/game-over-for-the-climate.html?_r=0
- [251] Centre for Energy: Frequently asked questions Question : What is the energy balance for oilsands production? <http://www.centreforenergy.com/FAQs-All.asp?template=1,4&qCID=50&qID=303&print=1>
- [252] Centre for Energy : Frequently asked questions Question: What per cent of the United States oil supply comes from the oilsands? <http://www.centreforenergy.com/FAQs-All.asp?template=1,4&qCID=50&qID=304&print=1>
- [253] A TECHNICAL, ECONOMIC , AND LEGAL ASSESSMENT OF North American Heavy Oil, Oil Sands, and Oil Shale Resources. In Response to Energy Policy Act of 2005 Section 369(p). PREPARED FOR U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. PREPARED BY UTAH HEAVY OIL PROGRAM INSTITUTE FOR CLEAN AND SECURE ENERGY THE UNIVERSITY OF UTAH SEPTEMBER 2007. <http://www.fossil.energy.gov/programs/oilgas/publications/oilshale/HeavyOilLowRes.pdf>

- [254] TECHNICAL REPORT SERIES Prospective Analysis of the Potential Non Conventional World Oil Supply: Tar Sands, Oil Shales and Non Conventional Liquid Fuels from Coal and Gas. Institute for Prospective Technological Studies. European Communities, 2005. Institut Franais du Pétrole Direction des Etudes Economiques Jean Francois Gruson, Sébastien Gachadouat, Guy Maisonnier and Armelle Saniere. Technical Report EUR 22168 EN <http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur22168en.pdf>
- [255] Canada's Tar Sands www.calproject.org/factsheet-ibcc-tarsands.pdf
- [256] What Is Oil Shale? <http://ostseis.anl.gov/guide/oilshale/>
- [257] The chapter 8 (Petroleum) of the Course Introduction to Fuel Technology by Ljubisa R. Radovic Professor of Energy and Mineral Engineering (1999-present) at The Pennsylvania State University <http://www.ems.psu.edu/~radovic/Chapter8.pdf>
- [258] Oil Shale Wikipedia, the free encyclopedia http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_shale
- [259] DG INTERNAL POLICIES OF THE UNION Policy Department Economic and Scientific Policy. "A study on the EU oil shale industry - viewed in the light of the Estonian experience Study", (IP/A/ITRE/FWC/2005-60/SC4) http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2004_2009/documents/dv/ip_a_itre_st_2006_/ip_a_itre_st_2006_10.pdf
- [260] "World Shale Gas Resources Map", By the United States by the Energy Information Administration. (2011). <http://geology.com/energy/world-shale-gas/>
- [261] Oil shale reserves,wiki. 17 March 2013 at 07:03. http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_shale_reserves
- [262] "An analysis of World Energy Outlook 2012", by Kjell Aleklett, originally published by ASPO International — NOV 29, 2012 <http://www.resilience.org/stories/2012-11-29/an-analysis-of-world-energy-outlook-2012>
- [263] "After The Gold Rush: A Perspective on Future U.S. Natural Gas Supply and Price", Posted by A. E. Berman* on February 8, 2012 - 11:05am. *Petroleum Geologist, Principal, Labyrinth Consulting Services. <http://www.theoil drum.com/node/8914>
- [264] "Shale Gas Production", U.S. Energy Information Administration. http://www.eia.gov/dnav/ng/ng_prod_shalegas_s1_a.htm
- [265] "Remarks by the President in State of the Union Address", January 24, 2012. <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/01/24/remarks-president-state-union-address>
- [266] "Obama Announces Plans to Achieve Energy Independence", Monday, January 26, 2009 11:06 AM, versión de la Casa Blanca según el periódico Washington Post. http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2009/01/26/AR2009012601147_pf.html

- [267] “Arthur Berman talks about Shale Gas”, in the Oil Drum (Discussions about energy and our future). Posted by Gail the Actuary on July 28, 2010 - 10:40am <http://www.theoil Drum.com/node/6785>
- [268] “Shale gas Abundance or mirage? Why the Marcellus Shale will disappoint Expectations”, Published by The Oil Drum on 2010-10-28 Original article:<http://www.theoil Drum.com/node/7075> by Arthur E. Berman
- [269] U.S. shale gas: Less abundance, higher cost Published by The Oil Drum on 2011-08-05 Original article: <http://www.theoil Drum.com/node/8212> by Arthur E. Berman, Lynn F. Pittinger
- [270] “The murky future of U.S. shale gas”, By Chris Nelder — October 17, 2012, 3:00 AM PDT <http://www.smartplanet.com/blog/take/the-murky-future-of-us-shale-gas/157>
- [271] “US can become world’s biggest oil producer in a decade, says IEA”, Fiona Harvey, environment correspondent The Guardian, Monday 12 November 2012 17.24 GMT <http://www.guardian.co.uk/environment/2012/nov/12/us-biggest-oil-producer>
- [272] “Insiders Sound an Alarm Amid a Natural Gas Rush”, By Ian Urbina, The New York Times. Published: June 25, 2011.
- [273] “Behind Veneer, Doubt on Future of Natural Gas”, By Ian Urbina, The New York Times. Published: June 26, 2011.
- [274] “Shale gas production”, Australia, national science agency, CSIRO. http://www.google.co.uk/#hl=es-419&gs_rn=5&gs_ri=psy-ab&ppq=production%20of%20shale%20oil%20as%20a%20time%20function&cp=24&gs_id=o&xhr=t&q=Production%20of%20shale%20gas%20as%20a%20time%20function&es_nrs=true&pf=p&sclient=psy-ab&oq=Production+of+shale+gas+as+a+time+function&gs_l=&pbx=1&bav=on.2,or.r_qf.&fp=3381bc07c49e3841&biw=
- [275] U.S. Shale Gas .An Unconventional Resource. Unconventional Challenges. http://www.halliburton.com/public/solutions/contents/shale/related_docs/H063771.pdf
- [276] “Shale gas boom now visible from space”, By Ajay Makan in London and Ed Crooks in New York, Financial Times, January 27, 2013 9:30 pm <http://www.ft.com/cms/s/0/d2d2e83c-6721-11e2-a805-00144feab49a.html#axzz2Pd0qakq>
- [277] “Unconventional natural gas reservoir could boost U.S. supply”, January 17, 2008. Terry Engelder. <http://news.psu.edu/story/191364/2008/01/17/unconventional-natural-gas-reservoir-could-boost-us-supply>
- [278] “Potential groundwater impact from exploitation of shale gas in the UK”, Groundwater Science Programme. Open Report OR/12/001 <http://nora.nerc.ac.uk/16467/1/OR12001.pdf>

- [279] Life-Cycle Analysis of Shale Gas and Natural Gas Energy Systems Division. Argonne National Laboratory . ANL/ESD/ 11-11. By C.E. Clark, J. Han, A. Burnham, J.B. Dunn, M. Wang. December 2011 <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/EE/813.PDF>
- [280] New York State Department of Environmental Conservation “Revised Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement On The Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program” http://www.dec.ny.gov/docs/materials_minerals_pdf/rdsgeisexecsum0911.pdf
- [281] Shale Gas Exploitation Contributed by Marianne Stuart, Team Leader Groundwater Protection with the British Geological Survey. April 1, 2012. <http://www.groundwateruk.org/shale-gas-exploitation.aspx>
- [282] Shale gas wiki http://en.wikipedia.org/wiki/Shale_gas
- [283] “Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts”, A report by researchers at The Tyndall Centre University of Manchester. Tyndall Centre Manchester Ruth Wood Paul, Gilbert Maria Sharmina, Kevin Anderson Independent Consultant Anthony Footitt. Sustainable Change Co-operative Steven Glynn, Fiona Nicholls. January 2011 (Final) http://www.karooplaces.com/wp-content/uploads/2011/06/coop_shale_gas_report_final_200111.pdf
- [284] “Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing”, Stephen G. Osborn, Avner Vengosh, Nathaniel R. Warner, and Robert B. Jackson. 8172–8176, PNAS, May 17, 2011, Vol. 108, no.20 www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1100682108
- [285] “Reply to Saba and Orzechowski and Schon: Methane contamination of drinking water accompanying gas- well drilling and hydraulic Fracturing”, Stephen G. Osborn, Avner Vengosh, Nathaniel R. Warner, and Robert B. Jackson. PNAS, September 13, 2011, vol. 108, no. 37, E665–E666. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1109270108
- [286] Potential Contaminant Pathways from Hydraulically Fractured Shale to Aquifers by Tom Myers . Ground Water. 2011. http://www.caryinstitute.org/sites/default/files/public/downloads/page/HF_groundwater_myers.pdf
- [287] “Confessions of a Fracking Defector”, <http://www.karoospace.co.za/karoo-space-magazine/talking-point/127-confessions-of-a-fracking-defector>
- [288] “Shale gas: hype and reality”, Dinsa Sachan. In Science and environment on line. Down to Earth. <http://www.downtoearth.org.in/content/shale-gas-hype-and-reality>
- [289] “Sorting frack from fiction”, The Economist. Jul 14th 2012 — From the print edition. <http://www.economist.com/node/21558458>

- [290] Karoo Shale Gas Report. Special report on economic considerations surrounding potential shale gas in the southern Karoo of South Africa. <http://cer.org.za/wp-content/uploads/2012/06/Econometrix-KSG-Report-February-2012.pdf>
- [291] “Fracking stirs controversy in South Africa. The debate over hydraulic fracturing has spread as energy companies lease rights to a huge shale field”. <http://www.guardian.co.uk/environment/2011/sep/02/frack-controversy-south-africa>
- [292] “Shale oil surge poses threat to renewable energy, PwC warns”. Will Nichols for Business Green, part of the Guardian Environment Network [guardian.co.uk](http://www.guardian.co.uk), Thursday 14 February 2013 13.38 GMT <http://www.guardian.co.uk/environment/2013/feb/14/shale-oil-threat-renewables-pwc>
- [293] “Ocean Tides”, Dr. Michael Pidwirny & Scott Jones University of British Columbia Okanagan. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8r.html>
- [294] “Tidal power”, http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_power
- [295] EnergyBC: Tidal Power May 2012. <http://www.energybc.ca/profiles/tidal.html>
- [296] “Sihwa Lake Tidal Power Station” http://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa_Lake_Tidal_Power_Station
- [297] “A sea of electricity” by Manuel Lena http://www.energybc.ca/cache/tidal/findarticles.com/p/articles/mi_hb4979/is_n10_v5/ain28711298/index.html
La Rance Tidal Barrage http://mhk.pnnl.gov/wiki/index.php/La_Rance_Tidal_Barrage
- [298] “SIHWA TIDAL POWER PLANT”, Daewoo Engineering & Construction Co., Ltd. [http://www.engan.esst.kyushu-u.ac.jp/~JapanKorea/material/Sihwa_Tidal_Power\(CWKim\).pdf](http://www.engan.esst.kyushu-u.ac.jp/~JapanKorea/material/Sihwa_Tidal_Power(CWKim).pdf)
- [299] “COMMERCIALIAING METHOD OF SIHWA TIDAL POWER METHODE COMMERCIALE POUR LÉNERGIE DE SIHWA” HEUNG?NYUN KIM, DOO?HYUN PAIK, AND DEUK?KYU PARK KOREA WATER RESOURCES CORPORATION, DAEJEON, SOUTH KOREA. 19th World Energy Congress, Sydney, Australia September 5-9, 2004.
- [300] “How is 100 % Renewable Energy Possible in South Korea by 2020?”, Margaux CHANAL, Research Associate, Global Energy Network Institute (GENI). August 2012. <http://www.geni.org/globalenergy/research/100-percent-renewable-for-south-korea/100-percent-Renewable-for-South-Korea.pdf>
- [301] “Evaluating options for sustainable energy mixes in South Korea using scenario analysis”, Sanghyun Hong, Corey J.A. Bradshaw, Barry W. Brook Energy xxx (2013) 1-8. Elsevier

- [302] “Renewable energy from the ocean”, Robin Pelc, Rod M. Fujita. *Marine Policy* 26 (2002) 471–479.
- [303] Department of Energy and Climate Change. Severn Embryonic Technologies Scheme. http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20121217150421/www.decc.gov.uk/en/content/cms/what_we_do/uk_supply/energy_mix/renewable/severn_tidal_power/embryonic_tech/embryonic_tech.aspx Tidal Turbines Posted by InfraNet Lab on July 21, 2008 — PERMALINK <http://infranetlab.org/blog/tidal-turbines>
- [304] SETS Tidal Fence Study <http://www.british-hydro.org/downloads/04%20J%20Griffiths.pdf>
- [305] Severn Tidal Fence Consortium, Final Report https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69847/24._Severn_Embryonic_Technology_Scheme_-_Final_Report_-_STFC.pdf
- [306] The Severn Barrage: a lost cause? <http://environmentalresearchweb.org/blog/2012/06/the-severn-barrage-a-lost-caus.html>
- [307] “Severn Tidal Power Q&A” Department for Bussines Enterprise & Regulatory Reform <https://docs.google.com/viewer?url=http://www.berr.gov.uk/files/file43809.pdf&pli=1>
- [308] Work Starts On The World’s Largest Tidal Energy Project. http://articles.businessinsider.com/2011-09-06/europe/30128428_1_edf-turbines-form-of-renewable-energy
- [309] “Economic Analysis of Solar Power: Achieving Grid Parity”, Annie Hazlehurst, Joint MBA / MS Environment & Resources Candidate Stanford Graduate School of Business. http://energyseminar.stanford.edu/sites/all/files/eventpdf/AHazlehurst_Solar%20Economics_102809.pdf
- [310] “World’s Largest Tidal Power Array Off French Coast” Zachary Shahan, November 14, 2011. <http://cleantechnica.com/2011/11/14/worlds-largest-tidal-power-array-off-french-coast/>
- [311] “World’s largest tidal farm to be installed off French coastline”, Carmel Doyle, 1 de septiembre del 2011. <http://www.siliconrepublic.com/clean-tech/item/23394-worlds-largest-tidal-farm>
- [312] “Environmental Effects of Tidal Energy Development” Proceedings of a Scientific Workshop, March 22-25, 2010. Brian Polagye, Brie Van Cleve, Andrea Copping, and Keith Kirkendall, editors. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration National, Marine Fisheries Service, NOAA Technical Memorandum NMFS F/SPO-116.
- [313] Methane hydrate, April 30, 2013. http://simple.wikipedia.org/wiki/Methane_hydrate
- [314] “Potential of gas hydrates is great, but practical development is far off”, November 7, 2012. <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=8690>

- [315] “Are methane hydrates the next big energy source? Japan hopes so”. Posted by Brad Plumer on March 12, 2013 at 1:04 pm <http://www.washingtonpost.com/blogs/wonkblog/wp/2013/03/12/japan-tries-to-unlock-the-worlds-biggest-source-of-carbon-based-fuel/>
- [316] “Japan Confirms World’s First Gas Produced from Methane Hydrate Deposits” BY BLOOMBERG ON MARCH 12, 2013. <http://gcaptain.com/japan-confirms-first-ever-gas-production-from-methane-hydrate-deposits/>
- [317] “Global Warming’s Terrifying New Math. Three simple numbers that add up to global catastrophe - and that make clear who the real enemy is”. By BILL MCKIBBEN. JULY 19, 2012. <http://www.rollingstone.com/politics/news/global-warmings-terrifying-new-math-20120719?print=true>
- [318] World Energy Outlook, November 28, 2011. People’s Daily Online, China. <http://www.iea.org/publications/worldenergyoutlook/pressmedia/quotes/7/>
- [319] “Nikola Tesla on Hot Dry Rock Geothermal Electrical Power Generation”, <http://www.tfcbooks.com/tesla/geothermal.htm>
- [320] Turcotte, D. L.; Schubert, G. (2002), “4”, *Geodynamics* (2 ed.), Cambridge, England, UK: Cambridge University Press, pp. 136–137, ISBN 978-0-521-66624-4
- [321] Potter, R. M. Robinson, E. S. and Smith, M. C., 1974, Method of extracting heat from dry geothermal reservoirs: U. S. Patent 3,786, 858, filed March 2, 1972, issued January 22, 1974.
- [322] A. W. Laughlin, R.A. Pettitt, F. G. West, A. C. Eddy, J. P. Balagna, R. W. Charles. “Status of the Los Alamos experiment to extract geothermal energy from hot dry rock”, *Geology*, (1977), v5, p237-240.
- [323] Potter, R. M. Balagna J.P., and Charles, R.W. , 1976, Permeability of a Biotite Monzogranite at levated temperatures: *EOS (Am. Geophys. Union Trans.)*, v 57, p.353.
- [324] W.L. Sibbitt, J.G. Dodson, and J. W. Tester. “Thermal Conductivity of Crystalline Rocks Associated With Extraction From Hot Dry Rock Geothermal Systems”, *J. Geophys. Research* (1979), vol. 84. p. 1117-1124.
- [325] R. G. Cummings, G. E. Morris, J. W. Tester, and R.L. Bivins. “Mining Earth’s Heat Dry Rock Geothermal Energy”. *Technology Review* (1979), February. p. 58-78.
- [326] G. J. Nunz. “Hot Dry Rock Geothermal Energy”, *Mechanical Engineering* (1980)November. p. 28-31.
- [327] B. R. Dennis and E. H. Horton. “Hot Dry Rock, an Alternate Geothermal Energy Resource a Challenge for Instrumentation”, *ISA Transactions* (1980). Vol.19,p. 49-58.

- [328] G. Heiken, H. Murphy, G. Nunz, R. M. Potter and C. Grigsby. "Hot Dry Rock Geothermal Energy: Man-made systems now make it possible to extract heat from rocks in areas where natural fluids are insufficient to the development of hydrothermal energy." *American Scientist*, (1981). vol. 69, p. 400-407.
- [329] G. Heinken and F. Goff. "Hot Dry Rock Geothermal Energy in the Jemez Volcanic field, New Mexico", *J. Vulcanology and Geothermal research*, (1982). Vol. 15, p. 223-246.
- [330] M. C. Smith. "A History of Hot Dry Rock Geothermal Energy Systems", *J. Vulcanology and Geothermal research*, (1983). Vol. 15, p.1-20.
- [331] R. A. Pettitt, A. M. ASCE and Naomi M. Becker. "Mining Geothermal Energy From Hot Dry Rock", *J. Technical Topics in Civil Engineering*, (1984). Vol.110. p. 70-83.
- [332] J.S. Lim and A. Bejan, J. H. Kim. "Thermodynamics of energy extraction from fractured hot dry rock". *Int. J. Heat and Fluid Flow*. (1992). Vol. 13, p. 71-77.
- [333] J. Zhao. "Geothermal Testing and Measurements of Rock and Rock Fractures", *Geothermics*, (1994). vol.23. p. 215-231.
- [334] A. J. Jupe, D. Bruel, T. Hicks et al. "Modelling of a European Prototype HDR Reservoir", *Geothermics*, (1995). vol. 24. p. 403-419.
- [335] O. Kolditz. "Modelling Flow and Heat Transfer in Fractured Rocks", *Geothermics*, (1995). vol. 24. p. 451-470.
- [336] D.V. Duchane. "Geothermal Energy from Hot Dry Rock: A renewable Energy Technology Moving Towards Practical Implementation", *WREC* (1996) p. 1246-1249.
- [337] M. Kuriyagwa. "Hot Dry Rock Geothermal Energy in Japan: Developments by Miti and Nedo". *Geothermics*, (1987) vol.16 p. 401-403.
- [338] J. E. Mock, J. W. Tester and P. M. Wright. "Geothermal Energy from the Earth: Its Potential Impact as an Environmental Sustainable Resource", *Annu. Rev. Energy Environ*. (1997). Vol. 22, p. 305-356.
- [339] O. Kolditz and C. Clauser. "Numerical Simulation of flow heat transfer in fractured crystalline rocks: application to the Hot Dry Rock site in Rosemanowes (U.K.)", *Geothermics* (1998). Vol.27. p. 1-23.
- [340] H. Murphy, D. Brown, et al, "Hydraulics and well testing of engineered geothermal reservoirs", *Geothermics* (1999). Vol.28. p. 491-506.
- [341] F. Ogino, M. Yamamura and T. Fukuda. "Heat transfer from hot dry rock to water flowing through a circular fracture", *Geothermics* (1999). Vol.28. p. 21-24.

- [342] S. Sasaki and H. Kaieda. "Determination of stress state from focal mechanism of microseismic events induced during hydraulic injection at the Hijiori Hot Dry Rock Site", *Pure Appl. Geophys.* (2002). Vol. 159, p.489-516.
- [343] E. Barbier. "Geothermal energy technology and current status: an overview", *Renewable and Sustainable energy Reviews.* (2002), vol.6, p. 3-65.
- [344] K. Yoshida, A. Shimizu, S. Fomin, T. Hasida. "Computer simulation of fluid in fractured media. Effect of thermal dispersion", *Sixth International Workshop on Nondestructive Testing and Computer Simulations in Science and engineering*, Alexander I. Melker, Editor, *Proceedings of SPIE* vol. 5127(2003) p. 207-215.
- [345] D. Wyborn, M. Somerville, M. Bocking and A. Murray. "Australian Hot Rock Geothermal Energy Potential and a Possible test Site in the Hunter Valley" *The AusIMM Annual Conference* , New castle, 23-26 march 1995. P. 31-35.
- [346] D.V. Duchane "Progress in making Hot Dry Rock Geothermal Energy a viable renewable energy resource for America in the 21st century". In *Energy Conversion Engineering Conference, 1996. IECEC 96.*, *Proceedings of the 31st Intersociety (Volume:3)*. Meeting Date :11 Aug 1996-16 Aug 1996. ISSN :1089-3547
- [347] *The Future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century.* November 2006. Idaho National Laboratory Idaho Falls, Idaho 83415. Prepared for the U.S. Department of Energy. Assistant Secretary for Energy Efficiency and Renewable Energy. Under DOE Idaho Operations Office Contract DE-AC07-05ID14517. 2006 Massachusetts Institute of Technology. Prepared under Idaho National Laboratory Subcontract No. 63 00019 for the U.S. Department of Energy, Assistant Secretary for Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Geothermal Technologies, Under DOE Idaho Operations Office Contract DE-AC07-05ID14517.
- [348] *Economic Predictions for Heat Mining : A Review and Analysis of Hot Dry Rock (HDR) Geothermal energy Technology.* J. W. Tester and H. J. Herzog. Energy Laboratory. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts 02139. Final Report for the U.S. Department of Energy Geothermal Technology Division. MIT-EL 90-001. July 1990.
- [349] Geothermal <http://smu.edu/geothermal/heatflow/heatflow.htm>
- [350] P. Landru, P. Calcagano, A. Genter et al. "Enhanced Geothermal Innovative Network for Europe (The ENGINE Co.ordination action)" *GRC Transactions* (2006) Vol.30, p.1053-1057.
- [351] H. Gurgenci, V. Rudolph, T. Saha, and M. Lu . "Challenges for geothermal energy utilisation", *PROCEEDINGS, Thirty-Third Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* Stanford University, Stanford, California, January 28-30, 2008. SGP-TR-185

- [352] “Mining the Earth’s Heat: Hot Dry Rock Geothermal Energy”. Springer. Geography 2012, pp. 17-40. D. W. Brown, D. V. Duchane, G. Heiken, V. T. Hriscu.
- [353] C. Augustine, J. W. Tester, B. Anderson, S. Petty and B. Livesay. “A COMPARISON OF GEOTHERMAL WITH OIL AND GAS WELL DRILLING COSTS”. PROCEEDINGS, Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30-February 1, 2006. SGP-TR-179
- [354] United States Patent. Patent Number 5,771,984. Date of Patent: June 30, 1998. “Continuous drilling of vertical boreholes by thermal processes: Including Rock spallation and fusion” Inventors: R. M. Potter, Los Alamos, N. Mex.; J.W. Tester, Hingham, Mass. Assignee: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- [355] United States Patent. Patent Number 6,742,603. Date of Patent: June 1, 2004. “Hydrothermal drilling method and system” Inventors: R. S. Polizzoti, Milford, NJ (US); L. Hirsch, Evanston, IL (US); et al. Assignee: ExxonMobil Research and Engineering Compsny, Annandale, NJ (US).
- [356] PSFC/RR-09-11. Annual Report 2009. “Millimeter Wave Deep Drilling For Geothermal Energy, Natural Gas and Oil” P.Woskov and D. Cohn http://www.psfc.mit.edu/library1/catalog/reports/2000/09rr/09rr011/09rr011_full.pdf
- [357] United States. Patent Application Publication. Pub. No. :US 2010/0044103 A1 Pub. Date: Feb.25, 2010. “Method and System for Advancement of a borehole using a high power laser” Inventors: J. F. Moxley, Denver, CO (US); M. S. Land, CO (US); et al.
- [358] United States Patent. Patent Number 8,082,996 B2. Date of Patent: Dec. 27, 2011. “Equipment for excavation of deep boreholes in geological formation and the manner of energy and material transport in the boreholes” Inventors: Ivan. Kocis, Bratislava (SK); Tomas. Kristofic, Bratislava (SK); Igor. Kocis Bratislava (SK).
- [359] United States. Patent Application Publication. Pub. No. :US 2012/0309268 A1 Pub. Date: Dec. 6 , 2012. Inventors: D. A. Summers, Rolla, MO (US); et al.