

DISRUPCIÓN LIMPIA

DE LA ENERGÍA Y EL TRANSPORTE

Cómo Silicon Valley
Hará Obsoletos al Petróleo,
Gas Natural, Carbón,
Energía Nuclear,
Empresas Eléctricas y
Vehículos Convencionales
para 2030.

Tony Seba



PRÓLOGO DE JOSÉ LUIS CORDEIRO



Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte

**Cómo Silicon Valley Hará Obsoletos al Petróleo,
Gas Natural, Carbón, Energía Nuclear, Empresas
Eléctricas y Vehículos Convencionales para 2030**

TONY SEBA

Clean Planet Ventures
Silicon Valley, California, USA

Primera Edición Beta v.0.000.04.28.14
15 de Junio de 2014

Copyright©2014 Tony Seba. All rights reserved.

Incluyendo el derecho de reproducción total o parcial en cualquier medio.
Ninguna parte de este documento puede ser reproducida en cualquier forma o por cualquier medio, bien sea electrónico o mecánico, con ningún propósito, sin la autorización expresa por escrito de Tony Seba.

Impreso en Estados Unidos de América.
Primera Edición Beta.

ISBN-978-0-9970471-0-3

Para obtener información sobre los descuentos por grandes cantidades o acerca de autorización para reproducir secciones de este libro, Email: info@tonyseba.com

www.tonyseba.com

Cover Art ©2014 by Tony Seba.

Muchos de los nombres de productos mencionados en este documento son marcas comerciales o marcas comerciales registradas de sus respectivos propietarios.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Seba, Tony

Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte: Cómo Silicon Valley Hará Obsoletos al Petróleo, Gas Natural, Carbón, Energía Nuclear, Empresas de Servicio Públicos y Vehículos Convencionales para 2030.

- 1st ed. p. cm.

Incluye referencias bibliográficas e índice.

ISBN--978-0-9970471-0-3

A Maylén Rafuls.

Este libro no hubiera sido posible sin ti.

Gracias por tu apoyo.

Tabla de Contenidos

AGRADECIMIENTOS	XI
-----------------------	----

PRÓLOGO	XIII
---------------	------

INTRODUCCIÓN ENERGÍA Y LA EDAD DE PIEDRA	1
Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte	2
Una Clásica Tecnología Disruptiva de Silicon Valley	5
Cero Costos Marginales y Olas Disruptivas	5
Convergencia Tecnológica y Disrupción Limpia.....	9
Energía Participativa, Modelo de Negocio Innovador y Disruptivo	12
El Modelo Energético Participativo	13
Las Ciencias Económicas de la Tecnología de Silicon Valley:	
Los Rendimientos Crecientes.....	14
Rendimientos Crecientes y Decrecientes: Tecnología Vs Extracción.....	14
Efectos de Red y Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte.....	16
Ley de Moore y Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte.....	17
100 Años de Petróleo (o Gas, o Carbón, o Uranio).....	19

CAPÍTULO 1: LA DISRUPCIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR	21
Energía Solar, Barata y con Alta Penetración.....	24
Crecimiento Exponencial del Mercado de la Energía Solar.....	25
Costos Decrecientes de la Energía Solar.....	27
Instalaciones de Energía Solar con Crecimiento Rápido.....	30
¿Por Qué las Instalaciones de Energía Solar son más Baratas en Alemania que en EEUU?.....	32
Energía Solar sin Subsidios Vs. Precios Subsidiados de los Servicios.....	33
Lancaster, un Caso de Estudio para el Futuro de la Energía.....	34
¿Qué Tan Rápido Puede Presentarse la Disrupción de la Energía Solar?.....	37
Disrupción de las Instalaciones sobre los Techos de DirecTV.....	38
La Primera Planta de Energía Solar de Operación Ininterrumpida del Mundo.....	40
Baterías Solares de Sal.....	40
Cómo el Almacenamiento de Energía Cambia Todo.....	41
Energía Solar Nocturna: La Energía Solar 24-7 ha Llegado.....	42
La Disrupción Solar Está Aquí.....	42

CAPÍTULO 2: FINANZAS EN LA DISRUPCIÓN DE LA INDUSTRIA ENERGÉTICA . 47

Nuevo Modelo de Negocio para la Energía Solar.....	48
La Caída de los Costos de la Energía Solar.....	51
Costos Capitales y Costos de Capital.....	52
Caso de Estudio: Financiamiento PACE en Sonoma.....	53
Finanzas Participativas: Crowdfunding para la Energía Solar.....	56
Finanzas Participativas: Energía Eólica en Dinamarca.....	57
El Puente Golden Gate como un Ejemplo de Finanzas Participativas.....	60
Mosaic: Una Compañía Devota de las Finanzas Participativas.....	62
Por Qué la Energía Solar Atrae a Warren Buffett y a Wall Street.....	65
La Titularización Llega a la Energía Solar.....	68
Financiación de la Energía Solar con Fondos de Inversión Inmobiliaria.....	70
Llevando las Sociedades Limitadas a la Energía Limpia.....	72
En Conclusión: La Oportunidad Trillonariadel Financiamiento de Energía Solar.....	75

CAPÍTULO 3: ELECTRICIDAD 2.0: ENERGÍA DISTRIBUIDA Y PARTICIPATIVA EN LA DISRUPCIÓN DE LOS SERVICIOS ENERGÉTICOS..... 79

Australia: La Forma de las Cosas Que Vienen.....	81
Cómo la Energía Solar Sustituirá el Precio Pico de la Energía.....	83
Cómo la Energía Solar Sustituirá el Mercado Energético Mayorista.....	85
Explorando las Ventajas en los Costos de la Energía Distribuida.....	87
Instalaciones Solares de Wal-Mart, IKEA y las “Cajas Grandes”.....	90
La Industria Inmobiliaria Descubre la Energía Solar.....	92
El Termóstato Robótico.....	93
Cómo el “Big Data” Aumentará el Rendimiento de las Energías Limpias.....	98
La Disrupción Cero: El Museo de Ciencias Exploratorium.....	99
Cómo los Diseños Distributivos Ayudan a la Energía Limpia.....	101
Conozcan a Rachel Rhodes, Disruptora Solar a Distancia.....	102
La Presión de las Empresas de Servicios: Unir y Elevar los Precios.....	104
La Siguiete Ola Disruptiva: Almacenamiento de Electricidad Distribuido.....	107
La Siguiete Ola Disruptiva:Almacenamiento de Electricidad en el Sitio.....	108
Kodak: Un Ejemplo para las Empresas Eléctricas.....	111
La Picazón de Veinte Años: Cómo la Energía Solar Supera la Generación Tradicional.....	113
El Imperio Contrataca: David contra Goliat en California.....	114
El Imperio Contrataca de Nuevo: La Toma del Sol.....	116

CAPÍTULO 4: LA DISRUPCIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS..... 119

Nueve Razones por las que el Vehículo Eléctrico es Disruptivo.....	120
¿Cuánto Tiempo Pasará hasta que la Disrupción se Presente?.....	134
Innovaciones Disruptivas en los Modelos de Negocios.....	136

Carga Eléctrica Gratis	136
Mantenimiento Gratis.....	138
Mi Predicción Hecha en 2010 sobre la Desaparición de los Vehículos a Gasolina en 2030.....	139
Mi Nueva Predicción sobre la Desaparición de los Vehículos a Gasolina en 2030.....	141
La Migración Masiva a los Vehículos Eléctricos	146
El Último Vehículo a Gasolina.....	147
CAPÍTULO 5: LA DISRUPCIÓN DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS	151
Carros en la Nueva Economía Compartida	153
Vehículos Autónomos: La Máxima Máquina Disruptiva	155
Carros a Gasolina: La Máxima Máquina de Desperdicios.....	156
La Acelerada Carrera hacia los Carros Completamente Autónomos	163
Mejora Exponencial en la Relación de Costos de la Tecnología.....	166
Google, Apple y Forasteros Automotrices.....	170
Sistemas Operativos Automotrices y Mercados Donde “El Ganador se Lleva Todo”.....	170
Carros como Servicios: El Máximo Modelo de Negocio Disruptivo.....	171
Innovación en los Modelos de Negocio.....	174
Sustituyendo la Industria de los Seguros para Vehículos	175
CAPÍTULO 6: EL FIN DE LA ENERGÍA NUCLEAR	177
Medios Participativos, Ciudadanos Científicos y una Excursión por la Energía Nuclear.....	179
Captura Regulatoria, Desmantelamiento y Costo Prohibitivo de la Energía Nuclear.....	181
Captura Regulatoria, Generación y Costo Prohibitivo de la Energía Nuclear.....	182
Subsidios Nucleares Galore: Los Reactores de Vogtle en Georgia.....	183
Asegurando lo Inasegurable: Rescate de la Energía Nuclear por Parte de los Contribuyentes.....	189
El Espiral de la Muerte de la Energía Nuclear	192
Disrupción de los Zombis Nucleares.....	195
CAPÍTULO 7: EL FIN DEL PETRÓLEO	199
Mejora Exponencial en la Relación de Costos de la Energía Solar Relativa al Petróleo.....	200
El Fin de las Arenas Petrolíferas de Canadá	203
La Primera Nación Solar del Mundo.....	206
El Final del Diésel es el Final de la Pobreza Energética.....	207
Cuando la Energía Solar y los Vehículos Eléctricos Converjan	209
¿Cuánta Superficie para la Energía Solar es Necesaria	

para Accionar todos los Vehículos Eléctricos?	210
¿Cuánta Superficie en el Agua y la Tierra Necesita la Energía a Base de Petróleo o Gas para Accionar todos los Vehículos Eléctricos?	211
Fugas, Derrames y Contaminación.....	212
Resumen: El Fin del Petróleo.....	213

CAPÍTULO 8: GAS NATURAL: UN PUENTE A NINGÚN LUGAR.....215

¿Es Limpio el Gas Natural?.....	217
¿Es Barato el Gas Natural?	220
Precios de la Energía Solar Vs el Gas Natural.....	224
Conservación del Agua y el Fin del Gas Natural	227
Inversiones Exponenciales y Rendimientos Lineales	228

CAPÍTULO 9: EL FIN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES231

Despilfarro de Recursos Hídricos con Biocombustibles.....	232
¿Cuánta Agua es Requerida por los Biocombustibles?.....	235
El Acuífero de Estados Unidos	236
Atlanta en su Tanque de Combustible.....	236
¿Qué pasa con la Nueva Generación de Biocombustibles?.....	238
Por Qué la Energía Solar es Más Eficiente que los Biocombustibles.....	239
Los Juegos del Hambre: La Batalla Final entre los Biocombustibles y el Petróleo.....	241

CAPÍTULO 10: EL FIN DEL CARBÓN243

Carbón: Una Propuesta Riesgosa	245
Carbón: una Muerte Anunciada.....	246
“Captura Regulatoria”: Cómo los Gobiernos Protegen a la Industria del Carbón.....	251
China: Agua para el Carbón, no para Alimentos.....	254
Muerte por Carbón.....	258
La Disrupción Final del Carbón.....	261

ACERCA DEL AUTOR.....267

NOTAS FINALES.....269

Agradecimientos

“La victoria tiene cientos de padres y la derrota es huérfana.”

- Presidente John F. Kennedy

Quiero agradecer a todos los que accedieron a ser oradores invitados en mis cursos “Clean Energy and Transportation—Market Investment Opportunities” y “Understanding and Leading Market Disruption” en la Universidad de Stanford, de la misma manera que a los que accedieron a ser entrevistados para este libro: Masato Inoue (Nissan), Takeshi Mitamura y Kimihiko Iwamura (Nissan Research Center Silicon Valley), Danny Kennedy (Sungevity), David Arfin, (SolarCity), Kevin Smith (SolarReserve), José Martin (Sener USA), Craig Horne (Enervault), Peter LeLievre (Chromasun), Raj Atluru (DFJ Ventures), Manny Hernández (SunPower), G.G. Pique (Energy Recovery), Peter Childers (Utility Scale Solar), José Luis Cordeiro (Singularity University), Steve Nasiri (Invense), Abe Reichental (3D Systems), Rich Mahoney (SRI International), Andreas Raptopoulos (Matternet), Dan Rosen (Mosaic) y Emily Kirsch (SfunCube / Powerhouse).

Quiero agradecer a los estudiantes de mis cursos de Stanford: “Clean Energy and Transportation—Market and Investment Opportunities” y “Understanding and Leading Market Disruption”. La intersección entre mis clases de energía limpia y de disrupción aportó el núcleo de ideas principales para este libro. Soy bendecido por poder enseñar a los innovadores y emprendedores que están cambiando al mundo en la dirección correcta. Muchos de ellos se han dedicado a comenzar o a unirse a compañías disruptivas de energía limpia, transporte limpio y tecnología de la información en Silicon Valley. Ellos han forzado los límites de la tecnología, los modelos de negocios y la innovación de productos. Muchos se han dedicado a generar cientos de megavatios de energía solar o eólica. Otros han ayudado a generar impactos positivos en think tanks, organizaciones no gubernamentales e instituciones de política pública.

Yo entrego lo mejor de mí para educarlos, inspirarlos y empujar sus pensamientos más allá de percepciones o barreras previas. Ellos, a cambio, me retan y me inspiran a entregar una experiencia excepcional que dura toda una vida. Les agradezco por eso.

Quiero agradecer a Hal Louchheim por darme la oportunidad de enseñar en Stanford hace doce años. He creado y enseñado cinco cursos diferente es Stanford y Hal siempre ha confiado y apoyado mis esfuerzos. También quiero agradecer a Dan Colman, Jefe de Estudios Continuos de Stanford y a su maravilloso equipo.

Estoy parado sobre los hombros de incontables científicos, ingenieros y emprendedores que han desarrollado tecnologías para la energía solar y eólica, vehículos eléctricos, carros autónomos, dispositivos para el almacenamiento de energía, robótica, dispositivos inteligentes, sensores, inteligencia artificial y muchas otras tecnologías que han hecho posibles productos, servicios y modelos de negocios que pueden brindar al mundo energía limpia y transporte limpio.

Quiero agradecer a Elena Castañón y su maravilloso equipo en Wikreate. Ellos fueron los diseñadores creativos detrás de este libro y mi nuevo website (tony-seba.com) y los elevaron a ambos a un nivel más alto. Gracias a Peter Weverka, quien editó mi manuscrito y claramente lo transformo en un libro de más fácil lectura. Gracias a Joe Deely por su feedback.

Quiero agradecer al personal de Village Market Coffee en San Francisco. Una amiga me dijo que para escribir un libro “todo lo que se necesita es amor e internet”. Yo quisiera agregar el café a esa mezcla. Quiero agradecer a Bhavesh Singh (Aegis Capital Partners) por su amistad y por ser un gran compañero de negocios.

Quiero agradecer a Fernando Solano Boullon por su traducción del libro; y a José Luis Cordeiro por leer y releer el manuscrito en inglés y en español, por coordinar la edición y la revisión del libro en español, por escribir el prólogo a esta edición, y por su amistad de hace casi cuatro décadas.

Finalmente, quiero agradecer a Maylén Rafuls por todo tu apoyo. Este libro no habría sido posible sin ti. Eres la mejor.

A todos ustedes, gracias por quienes son y por lo que hacen.

Prólogo

Tony Seba ha estado trabajando, enseñando e investigando asuntos energéticos por muchos años. Desde la última década, ha estado haciendo previsiones energéticas que pueden haber parecido poco razonables en su momento, pero que ya se han hecho realidad en esta década. Ahora, él prevé que para el 2030 toda la generación de energía se hará en base a la energía solar (y eólica) y que todos los vehículos nuevos serán autónomos y eléctricos. Dado que actualmente solo el 1% de la generación energética en el mundo es gracias a la energía solar (o eólica), algunos podrían pensar que el objetivo de 100% para 2030 es imposible. Otros también podrían considerar qué es más increíble pensar que podemos pasar de un mundo con menos de 1% de vehículos eléctricos y prácticamente 0% de vehículos autónomos (solo para dar dos números redondos acerca de la situación actual) a otro mundo con una producción de 100% de vehículos autónomos y eléctricos para el año 2030.

Si estas predicciones no son suficiente, Tony Seba también pronostica que las industrias actuales del petróleo, gas natural, carbón, nuclear, biocombustibles, eléctricas, y carros convencionales se harán obsoletas debido a la convergencia de la energía solar (y eólica) con los vehículos autónomos y eléctricos en el año 2030. ¿Serán acertadas las predicciones de Tony Seba una vez más? Sinceramente espero que sí lo sean, y creo que así será, ¡para el beneficio de toda la humanidad!

Disrupción Limpia

Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte es un libro realmente disruptivo. Más que disruptivo, es un libro revolucionario que visualiza la evolución exponencial de las industrias de la energía y el transporte durante las próximas dos décadas. El valor económico de esos dos sectores es realmente gigantesco, la industria energética representa cerca de 8 trillones de dólares y la industria de transporte 4 trillones de dólares adicionales, cada año. Por lo tanto se está hablando de sustituir una industria de alrededor de 12 trillones de dólares anuales, lo que es un número gigante, casi tan grande como la economía china, la de Estados Unidos o la de la Unión Europea.

En su anterior libro, **Solar Trillions**, Tony Seba ya consideró al rápido crecimiento; de comportamiento exponencial, de la energía solar. Sus pronósticos de 2010 fueron sorprendentemente precisos, sobre todo porque organizaciones como la International Energy Agency (IEA) y la Energy Information Administration (EIA) del US Department of Energy (DOE), han estado consistentemente equivocadas,

siempre subestimando el potencial de la industria de la energía solar. Mientras que la IEA y la EIA han usado proyecciones lineales, Tony Seba ha considerado crecimientos exponenciales en la producción y decrecimientos exponenciales en los costos.

Tony Seba

Tony Seba ha tenido una distinguida carrera en Silicon Valley como emprendedor y gerente. El obtuvo su título de B.Sc en ciencias de la computación e ingeniería en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), donde estudiamos juntos, posteriormente el recibió un MBA de Stanford University. Tony fue uno de los primeros empleados en Cisco Systems, posteriormente fue cofundador de PrintNation.com, donde recibió varios premios. Actualmente, es profesor en Stanford University, mentor de startups, inversionista privado y consultor corporativo. Su liderazgo ha sido considerado en publicaciones como BusinessWeek, sus artículos han aparecido en Forbes y ha escrito tres best-sellers. Tony Seba ha dado conferencias desde Abu Dabi hasta Hong Kong, desde Auckland hasta Seúl.

En su nuevo libro, Tony Seba describe muy bien porque la energía solar se parece mucho más a las nuevas industrias digitales de Silicon Valley que a la vieja industria de los combustibles fósiles. SolarCity es un ejemplo de las nuevas compañías energéticas, mientras que ExxonMobil es un ejemplo de los viejos dinosaurios energéticos. De forma similar, Tony describe al vehículo eléctrico y autónomo como una computadora sobre ruedas, y como estos nuevos vehículos son mucho más avanzados que los vehículos fabricados en Detroit, Alemania y Japón. Google y Tesla están yendo hacia adelante con los vehículos eléctricos y autónomos, mientras que GM y Toyota, por ejemplo, están encontrando bastante difícil seguir estas nuevas tendencias.

Crecimiento Exponencial

El crecimiento exponencial es el principal motor en la evolución de la industria de solar, y el crecimiento exponencial es también el principal motor en la evolución de los vehículos autónomos y eléctricos. Aunque hoy en día, solo el 1% de capacidad energética es generada a partir de energía solar y menos del 1% de los nuevos vehículos son eléctricos, solo hacen falta siete duplicaciones para llegar al 100%. Ambas industrias están ahora duplicándose cada dos años aproximadamente, de manera que tendrán el 2% en dos años, 4% en cuatro años, 8% en seis años, 16% en ocho años, 32% en diez años, 64% en doce años y llegarán al 100% en catorce años o menos. Obviamente, esto dependerá del crecimiento sostenido de estas industrias hasta la saturación del mercado, pero las tendencias

históricas son muy claras. Adicionalmente, los vehículos autónomos, que aún no son comercializados, tienen el potencial de crecer todavía más rápido gracias a los efectos de red. Por lo tanto, pensando exponencialmente, no es descabellado pasar de 1% a 100% en catorce años si el tiempo que toma duplicar el porcentaje es de tan solo dos años, como está ocurriendo actualmente. Pensemos en una Ley de Moore para la energía solar; ahora conocida como la Ley de Swanson en honor al profesor de Stanford que fundó SunPower, Richard Swanson. Además parece haber otra Ley de Moore para vehículos eléctricos y autónomos, o para computadoras sobre ruedas, en otras palabras.

En términos exponenciales, un verdadero “tsunami de energía solar” se está acercando rápidamente y hará que las compañías de combustibles fósiles y las viejas empresas eléctricas pasen a ser obsoletas. Paralelamente, otro “tsunami de vehículos eléctricos y autónomos” sustituirá a las compañías de vehículos tradicionales que no se adapten rápidamente a estas nuevas realidades. Compañías emergentes con modelos de negocios al estilo de Silicon Valley sustituirán completamente a las industrias tradicionales de la energía y el transporte. Todavía mejor, esta sustitución será por tecnologías limpias y mejorará las condiciones de la humanidad. Por años, por décadas, la energía y el transporte han sido de las industrias más sucias del mundo. En el futuro, la energía será más limpia, mucho más limpia. ¡Los combustibles fósiles se quedarán fósiles!

¿Cuánto costará esta transición?

¿Es realmente posible pasar de la actual era del petróleo a una era de energía solar? De acuerdo con el famoso Sheik Ahmed Yamani, la respuesta es afirmativa. ¿Pero costará la transición más que el actual status quo? Vamos a considerar los hechos.

De acuerdo con el World Energy Investment Outlook publicado por la IEA a finales de 2014 en Paris, la industria energética requerirá inversiones de 48 trillones de dólares entre 2015 y 2035. Esta enorme cantidad corresponderá a 23 trillones de dólares en combustibles fósiles, 10 trillones de dólares en generación energética (incluyendo 6 trillones de dólares para energías renovables), 8 trillones de dólares en eficiencia energética y 7 trillones de dólares en transmisión y distribución. Además de eso, medio trillón de dólares se gastan anualmente en subsidios para la industria de los combustibles fósiles, cerca de 550 billones de dólares en 2013. Obviamente, la IEA favorece a los combustibles fósiles dado que la agencia fue creada por la OCDE en 1974; después de la crisis petrolera de 1973, para garantizar las necesidades de este sector en los países industrializados. De la misma manera que el DOE fue creado originalmente en 1977 para responder a la crisis petrolera de 1973 en Estados Unidos. Por esta razón, ambas instituciones

consideran principalmente a los combustibles fósiles en sus proyecciones, y solo estiman que la energía solar tenga menos del 10% para el 2035. Sin embargo, este pensamiento lineal no captura la realidad de la capacidad de crecimiento exponencial de la energía solar, ni su decrecimiento exponencial de costos.

Los costos de la energía solar han estado decreciendo de forma exponencial desde casi \$100 vatio en los años 1970. Hoy en día el costo de las instalaciones de energía solar varía entre 1 y \$3 por vatio, dependiendo de la latitud y longitud de la instalación, considerando tanto ciudades como áreas rurales, y con tamaños que varían, incluyendo escalas de empresas de servicios y aplicaciones comerciales y residenciales. Gracias al continuo decrecimiento exponencial de costos y al crecimiento exponencial de la producción, es previsible en menos de una década que las instalaciones de energía solar costarán menos de 1 dólar por vatio, incluyendo los costos de almacenamiento.

La cantidad de potencia que la humanidad entera utiliza actualmente es cerca de 15TW, cifra que puede aumentar poco en los próximos años, gracias a avances en eficiencia energética, pues cerca de la mitad de la energía producida actualmente es desperdiciada. La peor industria en términos de eficiencia es el transporte, donde cerca del 80% de la energía es desperdiciada. Grandes mejoras en términos de eficiencia energética, como las que se han vivido en los últimos años, y grandes ahorros energéticos gracias a los vehículos eléctricos y autónomos, permitirán controlar el consumo energético mundial, el cual podría mantenerse estable o incluso decrecer ligeramente.

Combinando el consumo energético mundial cercano a 15TW de potencia y el precio de 1 dólar por vatio, se obtiene que 15 trillones de dólares son suficientes para transformar la matriz energética planetaria actual de los combustibles fósiles a la energía solar, incluyendo generación, transmisión, distribución y almacenamiento. Incluso si consideramos un pequeño incremento en la demanda energética y factores de capacidad bajos, el precio total podría ser 30 o 45 trillones de dólares, llegando hasta tres veces la capacidad de producción actual de 15 TW. Por lo tanto, la cifra indicada por la IEA de 48 trillones de dólares para mantener los combustibles fósiles es un insulto para quienes queremos un mundo más limpio y con energía más barata.

“Enernet”: Energía y Transporte Limpios Para Todos

Mi amigo Robert Metcalfe, antiguo profesor del MIT e inventor del Ethernet, popularizó la idea de Internet para la energía o “Enernet”. Dicho Enernet o red de energía nos permitirá conectar al mundo entero e incrementar, no reducir, nuestro consumo energético. Gracias a Enernet, la energía y la potencia se harán

abundantes y básicamente gratuitas, así como lo son hoy la información y el ancho de banda gracias a Internet. Consideraciones referentes al almacenamiento también son importantes, pero nuevas baterías y otras tecnologías avanzadas harán a Eترنت más resistente y permitirán crear efectos de red positivos. Este Eترنت inteligente ayudará además a potenciar nuevos sistemas de transporte basados en vehículos eléctricos y autónomos.

De acuerdo con Metcalfe, Eترنت traerá cambios fundamentales en la forma en que producimos y consumimos energía, desde la generación a la transmisión, almacenamiento y utilización final. Eترنت creará una red inteligente de energía con recursos distribuidos, sistemas eficientes, alta redundancia y alta capacidad de almacenamiento. Eترنت también ayudará en la transición a fuentes de energía limpia y renovable, con nuevos jugadores y emprendedores tomando el lugar de los antiguos gigantes petroleros y de las grandes empresas de servicios cuyos viejos productores monolíticos tendrán que dar más control a los crecientes prosumidores (productores y consumidores). Finalmente, continuaremos la transición de energía costosa a energía barata en un mundo donde la energía será identificada como un recurso no escaso sino abundante.

Compañías globales como Amazon, Apple, Facebook, Google, IBM y otras, han anunciado públicamente que quieren manejar todas sus operaciones con energía renovable. Adicionalmente, minoristas como Wal-Mart han anunciado que pondrán paneles solares en los techos e instalarán cargadores eléctricos para carros en sus tiendas, de manera que los clientes puedan cargar sus vehículos de forma gratuita, de la misma manera que pueden hacer ya en la red de “súper cargadores” de Tesla, donde las recargas también son gratuitas. ¿Por qué gratis? Porque la electricidad es mucho más barata que el petróleo y, gracias a la energía solar, se hará cada vez más barata, con costos de instalación también cada vez más bajos.

Este libro muestra el camino para la energía limpia y abundante para todo el mundo, con transporte bajo demanda económico y eficiente. La gente pobre alrededor del mundo se alejará de los combustibles fósiles y de los dinosaurios de empresas eléctricas para usar directamente sistemas inteligentes de energía distribuida, de la misma manera que los pobres pasaron de no tener teléfono a tener teléfono celular. De hecho, hoy en día, muchos de esos teléfonos celulares son cargados gracias a paneles solares fotovoltaicos en diferentes partes del mundo.

La transición energética llevará a una era limpia, que será mejor para usted, mejor para mí, mejor para la humanidad y mejor para el ambiente. Vivimos en tiempos fascinantes. Vivimos en tiempos de **Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte**.

José Luis Cordeiro, MBA, PhD

Visiting Research Fellow, IDE – JETRO, Japan

Director, Venezuela Node, The Millennium Project

Adjunct Professor, Moscow Institute of Physics and Technology, Russia

Founding Faculty, Singularity University, NASA Research Park, Silicon Valley,
California

Introducción:

Energía y la Edad de Piedra

*“Una era es llamada Oscura no porque la luz deje de brillar,
sino porque la gente se niega a verla”*

-James Michener

*“Si la tasa de cambio en el exterior es mayor que la tasa de cambio en el
interior,
el fin está cerca”*

-Jack Welch, ex CEO, General Electric

“Siempre parece imposible hasta que se hace”

-Nelson Mandela

La edad de piedra no se acabó porque la humanidad se haya quedado sin piedras. En realidad se terminó porque las rocas fueron sustituidas por una tecnología superior: el bronce. Las piedras no desaparecieron; solo pasaron a ser obsoletas para crear herramientas durante la edad de bronce.

La era de los caballos y las carretas no llegó a su fin porque los caballos hayan desaparecido. Esta llegó a su fin porque los caballos fueron sustituidos por una tecnología superior: el motor de combustión interna; además, por un innovador modelo de negocios propio del siglo XX. Los caballos no desaparecieron; solo pasaron a ser obsoletos para sistemas de transporte masivo.

La época de las fuentes de energía centralizadas, sistemáticamente controladas y provenientes de la extracción de recursos (petróleo, gas, carbón y fuentes nucleares) no llegará a su fin debido a que nos quedaremos sin petróleo, gas natural o uranio. Esta era llegará a su fin debido a que estas fuentes de energía, los modelos de negocio que utilizan y los productos que soportan estas industrias, serán sustituidos por tecnologías superiores, nuevos productos e innovadores modelos de negocios. Atractivas nuevas tecnologías como la energía solar y eólica y vehículos eléctricos y autónomos (Sin conductor) permitirán cambiaran la industria energética que conocemos hoy en día.

Los mismos ecosistemas de Silicon Valley que crearon la tecnología basada en bits que sustituyó la industria basada en átomos, están creando tecnologías basadas en bits y electrones que sustituirán a la industria energética basada en átomos.

Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte

La era de la energía y el transporte industrial está dando paso a una era de energía y transporte basada en el conocimiento y la tecnología de la información. La combinación de energías basadas en bits y electrones pondrá fin a la era de las convencionales industrias energéticas y de transporte basadas en átomos. Esta sustitución será limpia y cumplirá con las siguientes características.

1. Disrupción Basada en la Tecnología

La disrupción limpia está ligada a lo digital (bits) y tecnologías de energía limpia (electrones) sustituyendo a las industrias tradicionales basadas en la explotación de recursos (átomos). La energía limpia (solar y eólica) es gratis. El transporte limpio es eléctrico y usa energía limpia proveniente del sol y los vientos. La clave para la disrupción limpia de la energía se encuentra

en la mejora exponencial de los costos y el rendimiento de las tecnologías que convierten, manejan, almacenan y transmiten energías limpias. La disrupción limpia se refiere también a mejoras en los ámbitos del software y los modelos de negocios.

2. Voltear la Arquitectura de la Energía

De la misma manera que el internet y los teléfonos celulares dieron un vuelco total a la arquitectura de la información, disrupción limpia de la energía, creará una arquitectura para esta que no es la que conocemos hoy en día. La nueva arquitectura de la energía será distributiva, inteligente, móvil y participativa. Será una vuelta de tuerca para la arquitectura existente hoy en día, la cual es centralizada, sistemáticamente controlada, confidencial y caracterizada por la extracción de recursos. El modelo energético convencional está referido a grandes bancos, financiando grandes industrias que construyen grandes plantas o refinerías en muy pocos lugares del mundo. La nueva arquitectura está referida a pequeñas plantas distribuidas de forma mucho más regular y que pueden ser financiadas por todos.

3. Energía Abundante, Económica y Participativa

La disrupción limpia permitirá la existencia de energía abundante, económica y participativa. El actual modelo energético está basado en escasez, extracción y monopolios sistemáticamente controlados. La disrupción limpia se asemeja a la revolución de la tecnología de la información que cambio por completo el antiguo modelo de las publicaciones y la transmisión de la información, de manera que la información pasó a ser abundante, participativa y prácticamente gratis.

4. La Disrupción Limpia es Inevitable

La disrupción limpia es inevitable considerando las mejoras exponenciales en materias de costos de las tecnologías que permiten estos cambios, la creación de nuevos modelos de negocios, la democratización de la generación, financiamiento y acceso; de igual manera que el crecimiento exponencial del mercado.

5. La Disrupción Limpia Será Rápida

Se habrá completado para el año 2030. O tal vez antes.

El petróleo, el gas natural (metano), el carbón y el uranio, simplemente pasaran a ser obsoletos para la generación de cantidades significativas de energía y el accionamiento de vehículos de transporte. Sin embargo, estas fuentes de energía mantendrán campos de aplicación. Por ejemplo, el uranio seguirá siendo usado para fabricar armas nucleares y el gas para la cocina y la producción de fertilizantes. La obsolescencia y la disrupción limpia no significaran el final para las industrias tradicionales. Aún hoy en día podemos encontrar discos de vinilo, máquinas para tocarlos o veleros. Existirá un nicho en el mercado donde estas industrias podrán acoplarse, pero la energía y el transporte dejaran de ser industria de un trillón de dólares que es hoy en día.

En veinte años nos preguntaremos como podemos ponernos al día con las horrendas consecuencias de la actual industria energética que maneja 8 trillones de dólares anualmente. Si Nikola Tesla y Thomas Alba Edison regresarán de la muerte, ellos serían capaces de reconocer la industria que ayudaron a construir hace un siglo; y se mostrarían decepcionados de con lo poco que ha cambiado desde entonces. Los homólogos actuales de Tesla y Edison están creando tecnologías que ayudaran a dismantelar la era centralizada, de extracción y de energía sucia que estamos viviendo.

La primera ola de disrupción limpia ya ha comenzado con la distribución de energía solar y eólica. No pasará mucho tiempo para que la segunda ola se estrelle contra el remanente de la primera.

El transporte representa una industria global que maneja 4 trillones de dólares anualmente. Esta industria esta intrínsecamente ligada a la energía. Como se explica en este libro, los vehículos con motores de combustión interna serán sustituidos muy pronto, lo cual, terminará enviando ondas de choque a la industria petrolera.

La primera ola disruptiva para la centenaria industria automotriz, ya se encuentra en marcha con la aparición de los vehículos eléctricos. La segunda ola disruptiva; los vehículos autónomos, se sentirá antes de que la primera ola termine su acción. La industria del transporte no volverá a ser la misma nunca más.

Este libro se trata de como una nueva infraestructura basada en el tecnología y una gama de productos y servicios basados en la economía que durante la última generación han hecho de Silicon Valley una fuente disruptiva para el mercado

terminarán sustituyendo a la industria energética, que se ha mantenido prácticamente sin evolución por más de un siglo.

Una Clásica Tecnología Disruptiva de Silicon Valley

Compañías como Apple, Google, Facebook, Intel, Cisco, Facebook, Twitter y eBay son gobernadas por la economía de la información. Estas compañías crecieron rápida y fuertemente gracias a la economía de sus rendimientos crecientes.

Las compañías basadas en los recursos se fundamentan en la economía de sus rendimientos decrecientes. Silicon Valley es inherente a la abundancia, la innovación en los modelos de negocio, la cultura participativa y el poder democratizador. La energía tradicional es inherente a la escasez, el pensamiento extractivo, la cultura jerárquica y el poder centralizado.

Para explicar los alcances de la disrupción limpia, resulta conveniente observar el caso de una industria que recientemente fue sustituida en Silicon Valley; la película fotográfica.

Cero Costos Marginales y Olas Disruptivas

La era de la película fotográfica no llegó a su fin por la desaparición de estas. No se presentó la escasez de ninguno de los componentes necesarios para fabricar las películas fotográficas o las cámaras que las utilizan. La película fotográfica fue completamente desplazada gracias a los avances en imágenes digitales y tecnologías de la información, modelos de negocios disruptivos y una cultura participativa en la cual los líderes de la industria tradicional Kodak y Fujifilm simplemente no pudieron competir.

El líder de la fotografía durante el siglo XX; Kodak, tenía un modelo de negocios que le permitía obtener dinero cada vez que un usuario disparaba su cámara, en cualquier lugar y en cualquier momento.

Cada fotografía tomada, representaba dinero llegando a las cuentas de Kodak. Cada disparo de una cámara, involucraba la necesidad de revelar la película fotográfica (dinero para Kodak). La película debía ser procesada con un papel especial (dinero para Kodak).

El papel necesitaba una impresora especialmente diseñada para tiendas de fotografía (dinero para Kodak). Si el usuario quería agrandar el tamaño de la foto o acceder a copias adicionales, se traducían en dinero para Kodak.

Las cámaras digitales cambiaron esta ecuación. Una vez que los fotógrafos accedieron a cámaras digitales el costo marginal de tomar fotografías adicionales descendió prácticamente a cero. Los fotógrafos ya no tienen que pagar por películas fotográficas, el revelado de estas o la impresión de fotografías. Solo hace falta descargar los archivos a una computadora y se pueden disfrutar. Se pueden borrar las memorias de las cámaras para nuevamente tomar tantas fotos como se desee, descargarlas a una computadora y disfrutarlas. Se puede repetir este proceso indefinidamente.

Las industrias de la energía y el transporte tienen hoy en día modelos de negocios similares al modelo de Kodak. Cada vez que se activa un switch para encender un bombillo, más dinero se debe pagar por el servicio. Cada accionamiento del switch representa la quema de carbón, petróleo, gas o uranio y esto a su vez representa, más dinero para los proveedores de las industrias energéticas basadas en la explotación de recursos. Cada vez que se pisa el acelerador de un vehículo con motor de combustión interna, se envía dinero a la industria petrolera. Sustituir la gasolina por gas natural o etanol no cambia el modelo de negocio. Cada vez que se pisa el acelerador se está quemando algún combustible y se está enviando dinero a la industria energética.

La energía solar y eólica cambiarán la ecuación para la energía de la misma manera que las cámaras digitales cambiaron la ecuación para la fotografía. Después de construir una instalación de paneles solares sobre el techo, el costo marginal de cada unidad adicional de energía consumida descenderá esencialmente a cero porque el sol y los vientos son gratis. Accionar un switch no se traducirá en la quema de ningún combustible, por lo que no se traducirá en dinero a cambio del servicio.

Esto no solo aplica para instalaciones solares sobre el techo. La energía solar y eólica también cambiará la ecuación en mercados altamente competitivos de electricidad al por mayor. Estas tienen un costo marginal igual a cero. En el capítulo 3 se explica cómo los costos marginales nulos ya se encuentran sustituyendo servicios que confían en carbón, petróleo, gas o elementos nucleares para la generación de energía.

Kodak y su cadena de suministros orientada a las películas fotográficas, trataron de competir con la fotografía digital (véase Figura 1.1). Por ejemplo, Kodak desarrolló una nueva tecnología que permitía disminuir los tiempos de revelado de días a solo horas. Sin embargo, lo que causó la disrupción inherente a la fotografía digital no fue la tecnología por sí misma, sino las novedades en el modelo de negocios que acompañaron la mencionada tecnología; ya que bajo estos modelos los costos marginales bajaron a cero y esto es algo con lo que Kodak no pudo competir.



Figura I.1: Centro Obsoleto de Revelado Fotográfico en 1 Hora (Foto: Tony Seba)

La historia de cómo la fotografía digital sustituyó a la fotografía tradicional con película no termina con Kodak. La segunda ola de disrupción vino en la forma de una compañía asentada en San Francisco; Flickr, la cual permitió publicar y compartir fotos a través de internet de manera muy sencilla. En este caso el costo de publicar o almacenar nuevas fotografías descendió a cero. Nuevas compañías como Picasa facilitaron la tarea de almacenar fotos en computadoras personales o en internet. Otra forma en la que los costos marginales llegan a cero.

Luego llegó la tercera ola disruptiva; las redes sociales. Facebook se convirtió en el principal centro de publicación fotográfica en el mundo.

No mucho tiempo después, una nueva ola disruptiva entró en escena; el smartphone. Las cámaras presentes en los smartphones eran tan buenas como las cámaras independientes o al menos lo suficientemente buenas para la captura de fotografías cotidianas. De esta manera se lograba tomar fotografías, procesarlas y publicarlas en internet desde un mismo equipo. Posteriormente, Instagram un startup radicado en San Francisco que contaba con una docena de empleados, simplificó el proceso y en pocos meses se transformó en el centro de publicación fotográfica que más rápido crecía en el planeta. Facebook adquirió Instagram por 1 billón de dólares antes de que pudiera convertirse en una amenaza existencial para la gran red social.

Esta situación que se presentó en la fotografía y lo que está presentándose en muchas otras industrias es lo que he llamado “olas disruptivas”. Estas olas usualmente se presentaban cada siglo o tal vez cada nueva generación. Sin embargo, la computación ha acelerado la aparición de olas disruptivas de manera que se están presentando cada nueva década aproximadamente (véase Figura I.2).

Ahora nos encontramos en una era permanentemente disruptiva. Tan pronto como las nuevas compañías disruptivas comienzan a celebrar sus victorias frente a las compañías tradicionales, estas se convierten en el blanco de la siguiente ola disruptiva.

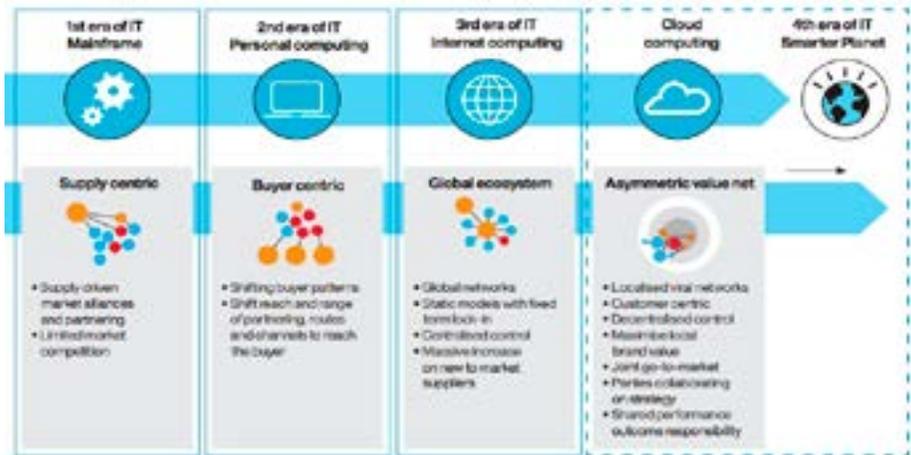


Figura I.2: Olas Disruptivas en la Tecnología de la Información (Fuente: IBM)¹

Tan pronto como Sony comenzó a celebrar su victoria en el campo de la fotografía digital frente a Kodak y Fujifilm, se tuvo que enfrentar a compañías de fotografía en la web, como Flickr. Mientras tanto, Flickr fue adquirida por Yahoo!, y mientras las botellas de champán estaban siendo destapadas por los empleados de Flickr, esta compañía tuvo que encarar las olas disruptivas provenientes de las emergentes redes sociales como Facebook. Posteriormente, Facebook fue amenazada por la ola disruptiva de Instagram. Ahora, Facebook e Instagram están siendo amenazadas por una nueva ola disruptiva de crecimiento rápido; Snapchat.

La disrupción de la industria energética y del transporte está siendo liderada principalmente por tres productos basados en la tecnología:

1. Energía solar.
2. Vehículos eléctricos.
3. Vehículos autónomos.

La energía solar se encuentra constantemente sustituyendo las formas tradicionales de energía. La energía solar ya es más económica que la energía nuclear. La energía solar es más económica que la electricidad al por menor en una gran cantidad de mercados en el mundo, desde Berlín a Sevilla a Palo Alto. En algunos

mercados la energía solar ha bajado los costos de la electricidad hasta en un 40%.

Compañías de paneles solares fotovoltaicos han logrado reducir sus costos en un factor de 154, una curva de costos clásica en la tecnología. Las compañías de tecnología tienen un incomparable ritmo de disminución de costos, mientras incrementan la calidad de sus productos y servicios de forma exponencial. La misma economía que guio a las cámaras digitales, microprocesadores, routers y teléfonos celulares está ahora guiando el desarrollo de paneles solares fotovoltaicos.

Los vehículos eléctricos ya son mejores, más rápidos y seguros que aquellos con motores de combustión interna (de gasolina). De igual manera, los vehículos eléctricos son más baratos en términos de operación y mantenimiento. Los vehículos eléctricos hoy en día aún son más costosos que sus competidores, principalmente por los costos de las baterías. Sin embargo, como ha ocurrido con otros productos tecnológicos, la curva de costos para los vehículos eléctricos cambiará muy pronto; los nuevos modelos de negocio solo acelerarán la transición entre los vehículos tradicionales a los nuevos vehículos eléctricos.

Los vehículos con motores de combustión interna tendrán su momento Kodak más pronto de lo que lo esperan. Para el año 2025, los vehículos tradicionales no tendrán forma de competir en contra de los eléctricos.

Los vehículos autónomos serán muy pronto mejores, más rápidos, económicos y seguros que los vehículos conducidos por humanos. Las olas disruptivas asociadas a los vehículos autónomos, acabaran borrando los últimos vestigios de la industria automotriz y petrolera.

Convergencia Tecnológica y Disrupción Limpia

En el campo de la energía limpia, los elementos disruptivos (energía solar, vehículos eléctricos y autónomos) se complementan y así, aceleran la adopción de uno o el otro. Por esta razón, los cambios disruptivos que sufrirán las industrias de la energía y el transporte serán dinámicos.

Considerando los teléfonos celulares, las computadoras personales y el internet. Todos ellos comenzaron como productos diferentes sirviendo en diferentes mercados, pero su simbiosis permitió complementar y acelerar la adopción de todos ellos. Todas estas industrias se vieron beneficiados de la investigación y

desarrollo presente en el campo de los microprocesadores, procesadores gráficos, dispositivos de almacenamiento y conectividad. Finalmente estas industrias inicialmente diferenciadas terminaron por converger. Juntas ahora conforman una infraestructura masiva de computación móvil. Esta infraestructura de todo tipo de dispositivos desde teléfonos móviles, smartphones, tablets, computadoras personales hasta centros de datos que manejan sistemas de almacenamiento en la nube.

Estas tecnologías sustituyeron industrias con más de un siglo de existencia y permitieron mejorar la vida de billones de personas en todo el mundo.

La disrupción se presenta siempre en olas y aún estamos viendo cómo se presentan olas disruptivas entre diferentes clases de computadoras. Las ventas de computadoras personales están decreciendo, mientras que las de plataformas móviles con internet; como smartphones y tablets crece cada día. La transición en mercados tecnológicos puede ser rápida. Tomó doce años la venta de 50 millones de laptops, siete años para 50 millones de smartphones y solo dos años para 50 millones de tablets.²

Las computadoras personales de Microsoft ya no son tendencia, ya que es lugar lo han ocupado los teléfonos iPhone de Apple y Android de Google. La tableta iPad de Apple es tendencia en su campo y toda su competencia simplemente lucha para alcanzarlos. El porcentaje del tráfico en YouTube procedente de internet móvil, pasó de 6% en 2011 a 40% en 2013³.

De forma similar, la energía solar, los vehículos eléctricos y los vehículos autónomos incursionarán al mercado como productos diferentes, pero su simbiosis los complementará y acelerará el desarrollo tecnológico y la aceptación en los mercados de todos ellos.

La inversión creciente en tecnologías para el almacenamiento de energía por parte de la industria automotriz ha llevado al subsecuente descenso en los precios de las baterías de ion de litio. A medida que estas se hacen más baratas, pueden ser usadas de forma más extendida y económica para almacenar energía solar y eólica. El aumento en la demanda de energía solar y eólica incrementa la cantidad de proveedores de baterías de ion de litio, lo que a su vez baja los costos para la energía solar, eólica y los vehículos eléctricos.

La demanda creciente de vehículos eléctricos y energía solar, atraerá más inversiones para este sector. Compañías innovadoras que puedan inventar nuevas formas de reducir costos y aumentar la calidad prosperarán. El beneficioso ciclo de incrementos en la demanda, la inversión y la innovación permitirán la dramática caída de los costos, lo que permitirá aumentar exponencialmente los beneficios

para las industrias de la energía limpia y el transporte limpio, esto también conducirá a una convergencia en la que las baterías van a poder ser usadas para transporte y para almacenamiento en redes eléctricas. Los vehículos eléctricos se podrán cargar en el trabajo y se convertirán tanto en fuentes como en consumidores de energía en el hogar. Esto derivará en un cambio rápido de la industria del transporte, desde fuentes de energía líquida a la energía eléctrica.

Los vehículos autónomos se beneficiarán de tecnologías como la inteligencia artificial, sensores, unidades de procesamiento gráfico, robótica, comunicaciones inalámbricas de banda ancha, materiales avanzados, visualización 3D, LIDAR e impresión 3D. Estas tecnologías también beneficiarán los desarrollos en energía solar, eólica y los vehículos eléctricos.

Actualmente los vehículos autónomos de Google, utilizan tecnología de visualización LIDAR 3D (véase Capítulo 5). LIDAR también puede ser utilizado para construir mapas en alta definición que pueden ser usados en ciencias forestales, arqueología, sismología y otros campos. Por ejemplo, la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica (NOAA, por sus siglas en inglés) utiliza LIDAR para recolectar datos y desarrollar herramientas de mapeo de costas. Estas herramientas podrán predecir con precisión inundaciones y tormentas a lo largo de las costas de Estados Unidos.⁴

Ciudades a lo largo de todo el mundo, desde Cambridge, Massachusetts, hasta San Diego, California, utilizan LIDAR para desarrollar mapas panorámicos 3D para ser usados en la planificación urbanística, arquitectura y diseño. Algo similar a un mapa 3D de SimCity obtenido a través de Google Earth en el cual se pueden visualizar a cualquier escala, desde cualquier ángulo todas las construcciones y virtualmente diseñar nuevos parques, casas o clínicas.

De esta manera, LIDAR que fue desarrollado para proteger poblaciones costeras, seguir fallas sísmicas y para ayudar en labores de planeación urbanística puede ser utilizado para desarrollar valoraciones más precisas sobre el potencial solar de distintas regiones. También puede ser usado para diseñar instalaciones de paneles solares fotovoltaicos sobre los techos de los edificios. Un estudio reciente del MIT concluyó que diseñar instalaciones fotovoltaicas con mapas generados a través de LIDAR conduce “a una predicción más precisa del campo fotovoltaico y una reducción de 10,8% en costos”⁵. LIDAR también puede ser usada para medir la velocidad, ángulo e intensidad del viento, información que puede ser utilizada para planear las operaciones en plantas de energía eólica.

Dado que los vehículos autónomos son básicamente computadoras móviles, también se beneficiarán de los avances en computación y comunicaciones provenientes de Silicon Valley. Almacenamiento de datos, computadoras, sistemas

operativos, aplicaciones, software, comunicaciones y aceleradores gráficos, todos estos son elementos que entraran en juego a la hora de desarrollar tecnologías a ser utilizadas por los vehículos autónomos.

Takeshi Mitamura, director del Centro de Investigación de Nissan en Silicon Valley comentó desde su oficina en Sunnyvale “los vehículos eléctricos son la plataforma natural para los vehículos autónomos”. Nissan anunció el lanzamiento de un vehículo autónomo para el año 2020.⁶

Energía Participativa, Modelo de Negocio Innovador y Disruptivo

La disrupción limpia de la energía y el transporte se encuentra estrechamente ligada a la aparición de modelos de negocios innovadores, el diseño de nuevos productos y servicios y la dominación de pequeños mercados, para que eventualmente los operadores tradicionales se transforme en un daño colateral.

Esta disrupción también está relacionada con una arquitectura para la energía completamente nueva. La disrupción de la información dada por el internet, las comunicaciones y la computación, se dieron en gran medida gracias a su arquitectura distribuida. La tecnología de la información cambió de un modelo jerárquico y con un proveedor centralizado a un modelo distribuido y participativo, centrado en el consumidor

La manera en que la información se produce, almacena, distribuye y consume ha cambiado radicalmente.

Tecnologías distribuidas, que fueron viables gracias a modelos de negocios innovadores y disruptivos, permitieron a su vez, que nuevas tecnologías florecieran y así cambiar la cultura en cuanto a lo referido a la información. La cual cambio de un modelo centralizado a uno participativo. Finalmente, el cambio del modelo centralizado a uno distribuido cambió todo lo referido a la industria de la información e inclusive a la sociedad en general. Las personas ya no quieren solo consumir nuevo contenido, están interesados en crearlo y compartirlo. Las compañías que permitieron a sus usuarios ingresar en el proceso de la generación y difusión de la información, fueron ampliamente recompensadas. Para comprobarlo, solo hace falta ver el progreso de Facebook, Twitter o LinkedIn.

El caso de la energía no será diferente.

Millones de routers se necesitaron para crear y sostener la infraestructura actual del internet. Hoy en día, los vehículos eléctricos son necesarios para soportar

la nueva infraestructura de la energía y el transporte. Sin embargo, no se debe perder de vista que los vehículos eléctricos y la energía solar son también base fundamental en el cambio de la arquitectura de la energía. Esta nueva arquitectura afectará la forma en la que la energía es producida, almacenada, distribuida y consumida. Esto traerá consigo nuevas tecnologías y modelos de negocio disruptivos e incluso cambios culturales referidos a cómo pensamos acerca de la energía.

El Modelo Energético Participativo

La revolución en la tecnología de la información catapultó la industria del procesamiento de datos de un núcleo central hacia los márgenes, de manera que pasamos del ordenador central a minicomputadores, computadores personales, teléfonos celulares y tablets en menos de tres décadas. Los nodos están haciéndose más pequeños, más conectados y más inteligentes. Sin embargo, aún estamos muy lejos del final de esta transición. El mundo del trillón de sensores está a la vuelta de la esquina.⁷

La revolución en la tecnología de la información no solo se dio por la miniaturización de la tecnología. Esta fue una transición de un modelo enfocado en un proveedor centralizado a otro modelo participativo enfocado en el consumidor.

Los consumidores digitales del Siglo XXI, han crecido para sentirse atraídos por tecnologías distribuidas construidas en el internet y los smartphones. Usuarios que anteriormente solo tenían acceso a uno o dos periódicos locales, ahora pueden acceder a información de cualquier lugar del mundo. Si bien el periódico local no ha desaparecido por completo, está herido y débil.

Siguiendo los pasos de la tecnología de la información la disrupción de la energía y el transporte, está rápidamente avanzando hacia un modelo participativo. Nos encontramos ante una arquitectura distribuida en la producción y uso de la energía, posible gracias a avances en software, sensores, inteligencia artificial, robótica, smartphones, internet móvil, grandes volúmenes de datos, satélites, nanotecnología, almacenaje de energía, ciencia de los materiales y el mejoramiento exponencial de otras tecnologías.

La energía solar, está catapultando la generación de energía desde un núcleo centralizado (grandes plantas energéticas) hacia los márgenes (el lugar donde está el usuario). Los nodos se están haciendo más pequeños, más modulares, más conectados y más inteligentes.

Bienvenidos a una época de energía participativa, donde cada usuario final será capaz de contribuir al financiamiento, almacenaje, distribución, gestión y comercio de energía.

Gracias a la naturaleza distributiva de la energía solar y el fácil acceso a información referente a la energía, los usuarios podrán escoger de donde quieren recibir la energía. La movilidad y conectividad de los vehículos eléctricos, los convertirán en medios para la generación, almacenaje y gestión de la energía. Muy pronto los usuarios decidirán quién proveerá energía y gestionará su uso eficiente.

Las Ciencias Económicas de la Tecnología de Silicon Valley: Los Rendimientos Crecientes.

La generación distribuida de energía solar y el vehículo eléctrico y autónomo son productos de información. Como tales, están gobernados por la economía de la información y los rendimientos crecientes. Estos están sujetos a la Ley de Moore tanto como los computadores personales y las tablets.

Rendimientos Crecientes y Decrecientes: Tecnología Vs Extracción

El modelo convencional de la energía; basado en la extracción de recursos, está referido a los rendimientos decrecientes. Por esta razón, este modelo convencional no podrá competir con industrias tecnológicas con rendimientos crecientes.

Procediendo a analizar el nuevo mimado del modelo convencional de la energía, la fractura hidráulica o “Fracking”. Para aplicar “Fracking” a una unidad de petróleo o gas, se requieren miles de camiones, millones de litros de agua, toneladas de arena y cientos de químicos depositados en los suelos. Además es necesario contar con una infraestructura de kilómetros de tuberías, grandes industrias para el licuado o compresión del gas ante de que pueda ser despachado o almacenado y grandes puertos con grandes plantas para poder descomprimir el gas y bombearlo nuevamente hacia las plantas. La generación de energía comienza solo después de que este complejo proceso se ha completado.

Los rendimientos de estos pozos, comienzan a decrecer desde el mismo momento en se comienza a bombear petróleo o gas. A pesar de alentador discurso de abundancia y “una época dorada para la energía” los pozos sometidos a “Fracking” probablemente se vacíen en un 60 o 70% durante el primer año de operación⁸.

La industria ha bautizado este fenómeno como “El Síndrome de la Reina Roja” (En honor a la Reina Roja de “A Través del Espejo”, quien dice a Alicia “tomará todo el esfuerzo que puedas hacer, solo para permanecer en el mismo lugar”). Debido a este Síndrome de la Reina Roja, se necesitará comenzar el “Fracking” en millones de nuevos pozos solo para mantener la producción actual, y esta situación no solo es aplicable para el “Fracking”. La producción en pozos tradicionales decaerá en un 50% dentro de los próximos dos años, después de lo cual los pozos podrán funcionar por unos pocos años más.

La economía de la extracción está referida a los rendimientos decrecientes:

- Mientras más se bombea, más disminuye producción del pozo
- Mientras más se bombea, los pozos aledaños menos se benefician
- Mientras más se bombea, más aumentan los costos de cada nueva unidad energética producida.

La energía solar y los vehículos eléctricos y autónomos están referidos a rendimientos crecientes.

Los paneles fotovoltaicos tienen una curva de aprendizaje de 22%. Sus costos de producción han disminuido 22% cada vez que se duplica su infraestructura asociada. Además, mientras más demanda existe en el mercado, menos se pagará por la adquisición de nuevos paneles y mayor beneficio obtiene el usuario. Por ejemplo, cada vez que se construye un nuevo panel solar en Alemania, los usuarios en California se benefician dado que las nuevas plantas solares ofrecerán servicios a menor costo. Cada panel solar vendido en Australia, reduce el costo de cada nuevo panel solar en Sudáfrica. La disminución de los costos, beneficia a cada nuevo usuario de energía solar.

Cada gran planta de generación de energía solar en el desierto, no solo beneficiará a quienes adquieren su energía de ella, sino a cada persona que compre energía solar en el futuro.

Mientras más alta sea la demanda de paneles fotovoltaicos, menor será el costo de la energía solar para cada usuario individual, en cualquier parte del mundo. Su vecino se beneficiará, el dueño de un almacén en Australia se beneficiará y los futuros consumidores de energía solar también lo harán gracias a la disminución de los costos. Todo esto permite un mayor crecimiento de la tasa de mercado para la energía solar, lo que a su vez, dada la curva de aprendizaje de la energía solar, repercutirá en la reducción de costos.

Este funcionamiento mutuamente beneficioso, es contrario en industrias basadas en la extracción de petróleo y gas. Cuando la demanda de petróleo de China se

catapultó durante la última década, los precios mundiales aumentaron cerca de 10 veces. A mayor demanda de petróleo en Beijing, mayor eran los precios de la gasolina en Palo Alto y Sídney.

Esto no es solo teórico. Los paneles fotovoltaicos han mejorado su relación de costos unas cinco mil veces comparados con el petróleo desde 1970 (véase Capítulo 7). Para 2020, dado el crecimiento en el mercado de la energía solar, está habrá mejorado su relación de costos unas doce mil veces (véase Capítulo 7).

La economía de la energía basada en extracción de recursos, basada en rendimientos decrecientes, no puede competir con la de las empresas tecnológicas basadas en los rendimientos crecientes.

El Síndrome de la Reina Roja no solo ha impulsado a la industria petrolera a bombear más pozos sino también a generar pozos más profundos, usar químicos más fuertes y crear más desperdicios. La industria de los combustibles fósiles ha hecho esto solo para mantenerse en el mismo lugar. El desastre de BP en el Golfo de México y la monstruosidad de las arenas petrolíferas de Alberta no son excepciones; son el resultado inevitable del mencionado síndrome; se necesita correr más rápido solo para mantenerse en el mismo lugar.

Efectos de Red y Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte

Los efectos de red explican por qué el valor de una red aumenta exponencialmente aun cuando su aprobación aumente de forma lineal. Los efectos de red son la razón por la cual AT&T dominaron de forma tan abrupta la industria telefónica en los Estados Unidos por un siglo; estos también explica como Microsoft Windows ha generado tanto capital por tres década y por qué Apple con iOS y Google con Android se han constituido como plataformas tan valiosas. Los efectos de red son como una apuesta en la que le ganador se queda con todo, ya que después que una plataforma tecnológica como Windows, Android o TCP/IP gana un mercado con efectos de red, se hace extremadamente difícil que otros compitan en ese mercado.

Los efectos de red aplican para el campo de los vehículos autónomos. A medida que el valor en el mercado de los vehículos autónomos crece de forma exponencial (no lineal), el mercado crece. Mientras más vehículos autónomos existan en las calles, más beneficios tendrán otros vehículos autónomos (véase Capítulo 5). Por esta razón los rendimientos para las compañías que ganen el mercado de los vehículos autónomos crecerán con cada nueva unidad que sea vendida.

Los efectos de red también implican que el mercado puede crecer al ritmo exponencial que mostraron Facebook, Apple iOS y Android; y no, con la tasa de crecimiento que mostraron General Motors o British Petroleum.

Ley de Moore y Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte

Los vehículos eléctricos son plataformas móviles y conectadas para la tecnología de la información

El modelo S de Tesla realiza descargas inalámbricas de software para actualizar su sistema operativo⁹. Este vehículo cuenta con conexión 3G propia y también puede conectarse a redes WiFi. En este aspecto, el modelo S de Tesla no es muy diferente de un smartphone o una tablet. Queda claro que el modelo S de Tesla es bastante diferente de un viejo Oldsmobile de GM, e igualmente queda claro que este viejo modelo no es competencia para Tesla.

El vehículo eléctrico es un producto del ramo de la tecnología de la información; de manera que como la mayoría de los productos de esta naturaleza, se beneficia de la Ley de Moore (o alguna versión de esta). La ley de Moore indica que la capacidad tecnológica de los microprocesadores aumenta a un ritmo anual aproximado 41%. De manera, que de acuerdo a esta ley, cada nuevo año se puede adquirir un computador que es 41% mejor (más rápido, más pequeño, más poderoso) por el mismo precio.

Cuando el proceso anteriormente mencionado se repite a lo largo de los años, se tiene un mejoramiento exponencial de productos relacionados con la tecnología de la información, como las computadoras, smartphones y tablets. Este tipo de crecimiento tecnológico exponencial es la razón por la cual los microprocesadores de hoy en día son mil veces más poderosos que los de hace veinte y un millón de veces más poderosos que los de hace cuarenta años. Las tasas de crecimiento tecnológico exponencial explican porque Silicon Valley ha producido industrias y tecnologías que han reventado el mercado en las últimas décadas. No se puede competir contra productos con crecimiento exponencial, a menos que sea con otro producto de crecimiento exponencial. Si la tasa de crecimiento de un competidor es superior a la propia, se está muerto. Solo es cuestión de tiempo para que el abogado de quiebras aparezca en la puerta. Recuerde a Kodak.

La ley de Hendy es equivalente a la Ley de Moore pero en el campo de la captura de imágenes. Descubierta por el trabajador de Kodak Barry Hendy en 1998, establece que el número de píxeles por dólar se duplica cada 18 meses. Lo que se traduce en una tasa de crecimiento anual de 59%, lo cual es aún más rápido

que la Ley de Moore. Por tanto, para poder competir en el mundo de la fotografía digital, se debe igualar o sobrepasar esta tasa de crecimiento.

Apple tiene una muy merecida fama por generar productos innovadores y con excelente diseño, pero si se desensambla un iPhone para observar sus componentes internos, se encontrará una gran cantidad de tecnologías que crecen exponencialmente de la mano con el excelente diseño. El iPhone 5S tiene cuarenta veces mejor rendimiento de procesamiento de datos que el iPhone original¹⁰, esto implica una tasa de crecimiento anual de 85%. El iPhone 5S también ha mejorado su capacidad de procesamiento gráfico 56 veces, ¡traduciéndose en una tasa anual del 96%!

Solo para mantenerse a la par del iPhone, sus competidores deben doblar la capacidad de sus procesadores gráficos cada año manteniendo los mismos costos.

Si se pretende competir contra alguien beneficiado por la Ley de Moore (o alguna versión de esta) sin estarlo, se está librando una batalla perdida.

Es solo cuestión de tiempo antes de que la compañía no beneficiada por la Ley de Moore sea sustituida. Esto aplica dentro y fuera de la industria. Obsérvense los casos de BlackBerry y Nokia.

¿Deberían dormirse en los laureles los ejecutivos del sector automotriz en Detroit mientras los vehículos de Tesla están montándose sobre la Ley de Moore? ¿Y si se presentan diferentes versiones de la Ley de Moore, cada una concerniente a diferentes tecnologías ofrecidas por Tesla?

Para vencer el ritmo de los avances en vehículos eléctricos, los productores de vehículos tradicionales con motores de combustión interna pueden pretender alcanzar una curva de crecimiento exponencial más rápida, pero no logran hacerlo. Los vehículos tradicionales pueden mejorar con tasas incrementales (un pequeño porcentaje anual), pero no pueden hacerlo a una tasa exponencial. Los vehículos con motores de combustión interna están librando una batalla perdida. En el capítulo 4 se exploran muchas razones por las que la ola disruptiva de los vehículos eléctricos está claramente acercándose.

El modelo energético de grandes y centralizadas fuentes de energía está llegando a su fin y está siendo remplazado por un modelo distribuido, modular, abierto, basado en el conocimiento y centrado en el usuario. Esta disrupción en el campo energético, conjuntamente con la disrupción del campo automotriz, tendrán un efecto domino. Muchas industrias serán sustituidas: el transporte marítimo y terrestre, el transporte público, los servicios de estacionamiento, alquiler y

aseguradores de vehículos. La planificación urbanística y el manejo de terrenos sufrirán impactos dramáticos. Las ramificaciones son sorprendentes.

Esto no solo está ocurriendo en Silicon Valley o en medios digitales. Toda industria relevante será sustituida o afectada en los próximos diez o quince años.

Las centenarias industrias de la energía y el transporte son la cúspide de la disrupción. La transición ya ha comenzado y los efectos disruptivos se sentirán rápidamente. Las fuentes tradicionales de energía ya son obsoletas o están próximas a serlo. El modelo de negocios que las hace viables, no puede competir con la fuerza disruptiva de tecnologías como la energía solar y los vehículos eléctricos y autónomos. Los modelos de negocios innovadores y la cultura participativa provenientes de Silicon Valley serán los ganadores del día.

100 Años de Petróleo (o Gas, o Carbón, o Uranio)

¿Alguien recuerda la conversación en 1990 acerca del “pico de papel” en la que los Estados Unidos aseguraron que contaban con suficiente papel para abastecer las necesidades de este por 100 años? Nadie lo hará. La web no afectó a la industria de los periódicos porque existiese escasez de papel.

¿Alguien recuerda la crisis por el “pico de vinil” o el “pico de CD's”? Nadie lo hará. La web tampoco afectó a la industria musical por la falta de estos.

La web, simplemente fue más rápida, limpia, económica y más convincente para producir, almacenar y consumir contenido. Las industrias del periódico y la música no pueden competir contra la web. La web le dio viabilidad a nuevos y disruptivos productos, servicios y modelos de negocio. Esta, creo una cultura participativa que causó la obsolescencia de las industrias tradicionales de la música y el periódico.

El panorama nacional acerca de la energía en medios, círculos políticos y la industria energética está obsesivamente centrado en si estamos ante un “pico del petróleo” o si hay suficiente gas natural (o carbón, o minas nucleares) para durar treinta, cien o cuatrocientos años. Quienes discuten esto, han perdido completamente el punto.

El teléfono móvil no sustituyó a la antigua industria telefónica porque se haya presentado una escasez de cobre. Existe suficiente cobre por explotar, para abastecer esta industria por más de cien años, pero esta no es una buena razón para invertir en esta tecnología obsoleta.¹¹ Nuevamente se tiene que el teléfono móvil sustituyó a la antigua industria telefónica porque es más rápido, limpio, económico y más convincente para comunicarse, almacenar, transmitir y consumir contenido.

Solo se deben sustituir las palabras petróleo, gas natural, carbón o cualquier fuente tradicional de energía por papel, vinil, o películas fotográficas para poder mirar el futuro de la energía.

La disrupción limpia de la energía y el transporte por parte de las tecnologías de crecimiento exponencial de Silicon Valley, los nuevos modelos de negocios y la cultura participativa, es inevitable y se dará rápidamente.

Las industrias energética y del transporte tal y como las conocemos, serán solo historia en el año 2030.

Capítulo 1:

La Disrupción de la Energía Solar

*“Un gran número de personas piensa que está pensando,
cuando realmente está reordenando sus prejuicios”*

Aldous Huxley

*“Primero te ignorarán, después se burlarán de ti,
después lucharán contra ti, después ganarás”*

Mahatma Gandhi

*“Si hiciste una evaluación de los paneles solares hace un año, o incluso
hace tres meses, esa evaluación está muy desactualizada”*

David Crane, CEO, NRG Energy

El 1 de febrero de 2013, El Paso Electric accedió a comprar energía proveniente del primer proyecto de energía solar de Macho Springs por 5,79 ¢/kWh “lo cual es menos de la mitad de los 12,8 ¢/kWh de la energía proveniente de las nuevas plantas de carbón” de acuerdo a modelos compilados por Bloomberg¹²

El costo de la energía solar está disminuyendo a gran velocidad; la misma se está convirtiendo la fuente más económica para venta al por menor de energía de uso residencial y comercial. Esto aplica para Australia, Estados Unidos, España y muchos otros mercados alrededor del mundo.

En los Estados Unidos, la capacidad para generación de energía eléctrica a partir de energía solar ha crecido de 435 MW en 2009 a 4.751 MW en 2013, lo que se traduce en un crecimiento anual de 82% (véase Figura 1.1)¹³. La energía solar representó el 29% de toda la capacidad de generación de energía en 2013, frente al 10% del 2012 y el 4% en 2010¹⁴.

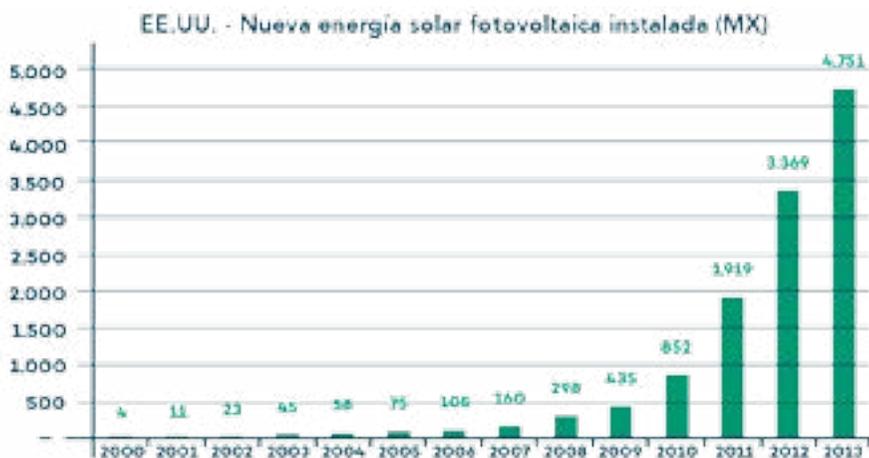


Figura 1.1: Capacidad de Nuevas Paneles Solares Fotovoltaicos Instalados en Estados Unidos (Fuente: SEIA)

Durante una despejada tarde, el 25 de mayo de 2012 en Alemania se generaron 22 GW a partir de energía solar, lo que representa un tercio de los requerimientos totales de ese país¹⁵. El record mundial para la elevada penetración de energía solar se instauró ese día, pero para la tarde siguiente se logró generar el 50% de la energía requerida por Alemania, quebrando el record mundial alcanzado un día antes.

Uno de cada dos electrones circulando en Alemania fueron un rayo solar solo un microsegundo antes. Por asombrosas que estas cifras de penetración parezcan, se están haciendo cotidianas.

En Alemania, un país con la mitad de la incidencia solar de Estados Unidos, la energía solar disminuyó los costos de la venta de energía al por mayor en un 40% tomando como referencia los costos de 2013 con relación a los de 2008¹⁶. Esto representa más de 5 billones de euros (6,7 billones de dólares) en ahorro para la economía Alemana¹⁷. La energía solar también ha reducido la volatilidad significativamente (véase Figura 1.2).

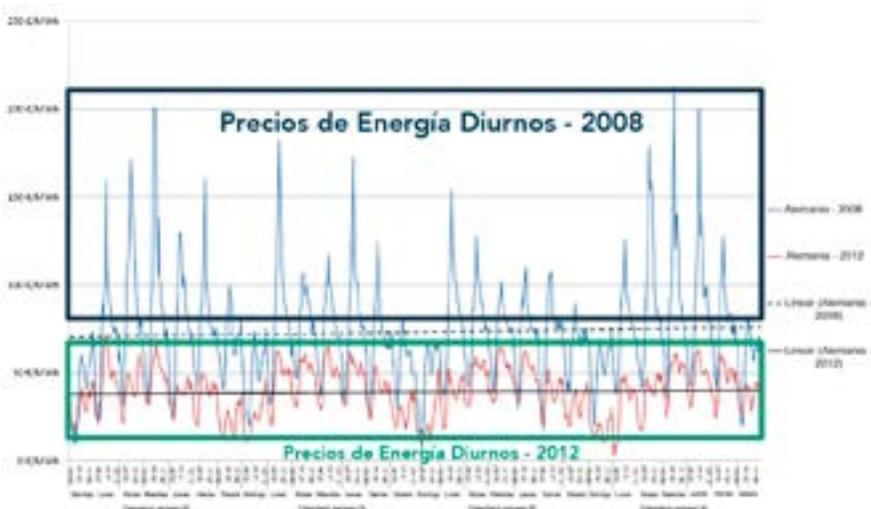


Figura 1.2: Costos de la energía al por mayor en Alemania, 2008, 2012, y 2013 (Fuente: Meikle Capital)¹⁸

La combinación de energía solar y eólica es igualmente poderosa. Poco antes del mediodía del 3 de octubre de 2013, la energía solar y eólica proporcionaron 59,1% de toda la energía eléctrica de Alemania¹⁹. Exactamente un mes después, el 3 de Noviembre de 2013, la energía eólica proporcionó el 100% del requerimiento energético de Dinamarca²⁰. Sí, no hay ningún error, el 100% de la energía en Dinamarca se dio gracias a la energía cinética contenida en las ráfagas de viento.

Al otro lado del mundo, Australia también ha conseguido sus propios records mundiales: un millón de instalaciones para la generación de energía solar en

aproximadamente cuatro años²¹. Esto representa una cuota de 11% del mercado de consumo energético residencial de ese país. En el caso de Alemania, hicieron falta doce años para poder alcanzar la marca de un millón de instalaciones para la generación de energía solar (Actualmente en Alemania existen entre 1,3 y 1,4 millones de instalaciones²²). Por su parte, Bangladesh alcanzó su marca del millón de instalaciones años antes de tiempo.

Mientras tanto en Estados Unidos, Warren Buffett, quien podría decirse que es el más exitoso inversor de este país, se convirtió en uno de los más grandes inversionistas en energía solar del mundo. MidAmerican Energy, una subsidiaria de Berkshire Hathaway; conglomerado perteneciente a Buffet, invirtió entre 2 y 2,4 billones de dólares para adquirir un proyecto de desarrollo de energía solar que se convertirá en la planta solar más grande (579 MW) cuando inicie operaciones en 2015²³.

Una compañía regional de servicios relativamente pequeña, financieramente prudente, que genera la mayor parte de su energía gracias al carbón (58%) es ahora la propietaria de la planta solar más grande del mundo²⁴.

Warren Buffett normalmente está un paso (o dos) por delante de Wall Street. ¿Es acaso su inversión en energía solar un indicador de la aceptación de esta por parte de los inversionistas del campo energético? Warren Buffett no está esperando la respuesta. MidAmerican también adquirió la segunda planta solar más grande del planeta (550 MW) por 2 billones de dólares y una participación del 49% en una tercera planta (290 MW) en Arizona²⁵. Cuando MidAmerican fue a recaudar fondos para estos proyectos, todos recibieron exceso de solicitudes.

Adicionalmente MidAmerican indicó que retirarán siete plantas de generación de energía a partir de carbón (véase Capítulo 10).

La energía solar ya está aquí y está en el proceso de sustituir la industria más grande del mundo.

Energía Solar, Barata y con Alta Penetración

El éxito de la energía solar, ha destrozado muchos mitos y ha recorrido un largo camino para combatir la desinformación que los voceros de la industria energética tradicional repiten hasta el hastío; la energía solar es costosa, no está lista para incursionar en el mercado, que le llevará muchos décadas a esta para llegar a alimentar las principales redes eléctricas o que la energía solar quemará las redes.

Mucho ha pasado en la industria energética desde que publique mi libro “Solar Trillions” en 2010. En aquel momento se hacía bastante complicado convencer a los encargados de tomar decisiones de que la energía solar sería la más grande fuente de energía en el futuro. Ahora esta es una premisa mucho más creíble. La pregunta no sería *si* sino *cuándo* ocurrirá. Incluso la gigante petrolera Shell está de acuerdo en que la energía solar será la mayor fuente energética en el futuro²⁶. Sin embargo, las previsiones de Shell están erradas por unos setenta años.

En este preciso momento, nos encontramos viviendo la transición disruptiva del tradicional modelo extractivo y centralizado a un modelo limpio, distribuido y con una arquitectura basada en la tecnología. Esta disrupción se habrá completado para el año 2030.

Crecimiento Exponencial del Mercado de la Energía Solar

La capacidad energética de los paneles solares fotovoltaicos instalados en el mundo para el año 2000 era de 1,4 GW, mientras que para el año 2013 se ubicó en 141 GW (véase Figura 1.3) esto se traduce en una tasa de crecimiento anual de 43%²⁷.

En Estados Unidos, los vatios producidos han sido prácticamente duplicados cada año durante los últimos tres años. En china fueron triplicados durante 2013²⁸.

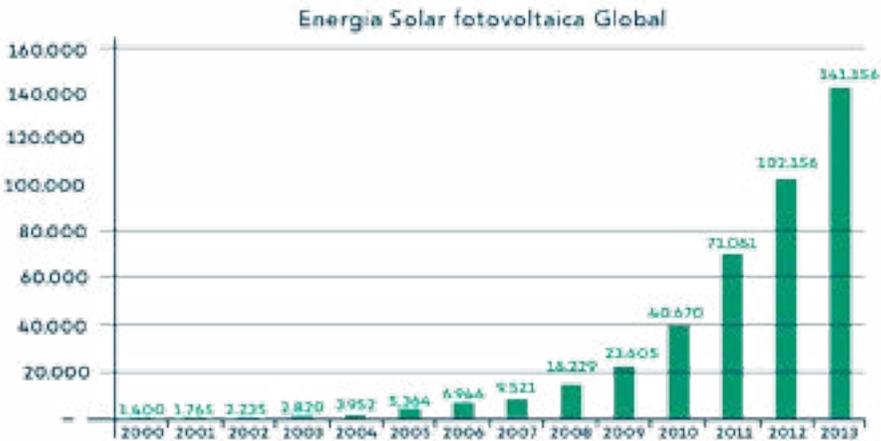


Figura 1.3: Capacidad Mundial de Paneles Solares Fotovoltaicos en MW (Fuente: EPIA and BNEF)

Alemania se mantiene como el líder mundial en aceptación de la energía solar. Para junio de 2013, poseía 34,1 GW provenientes de energía solar conectada a la red principal ²⁹. Esto representa el poder máximo de 34 plantas de energía nuclear. Los máximos niveles de generación de energía por vías tradicionales oscilaron entre 50 y 65 GW.

Actualmente es común que la energía solar aporte entre 20 y 35% del requerimiento energético para Alemania en tardes soleadas. En mayo de 2012 la energía solar cubrió el 20% del requerimiento energético por 24 días seguidos ³⁰. La capacidad se ha aumentado 7,6 GW desde aquel momento. Los costos marginales nulos de la energía solar han disminuido el precio de la energía al por mayor.

Europa ha continuado su camino hacia la energía limpia y distribuida. En 2011, 48% de las nuevas plantas energéticas están referidas a la energía solar y 21% a energía eólica (véase Figura 1.4). De manera que el 69% de la nueva capacidad energética generada en Europa para el 2011 estuvo basada en energía limpia.

Es necesario acostumbrarse a que energía proveniente del sol y el viento comprendan nuevas fuentes de alimentación para la red eléctrica. El Australian Energy Market Operator (AEMO) prevé que para el 2020, el 97% de las nuevas fuentes de alimentación para la red eléctrica serán provenientes de la energía solar.³¹ o eólica. Así serán las redes eléctricas que están por llegar.

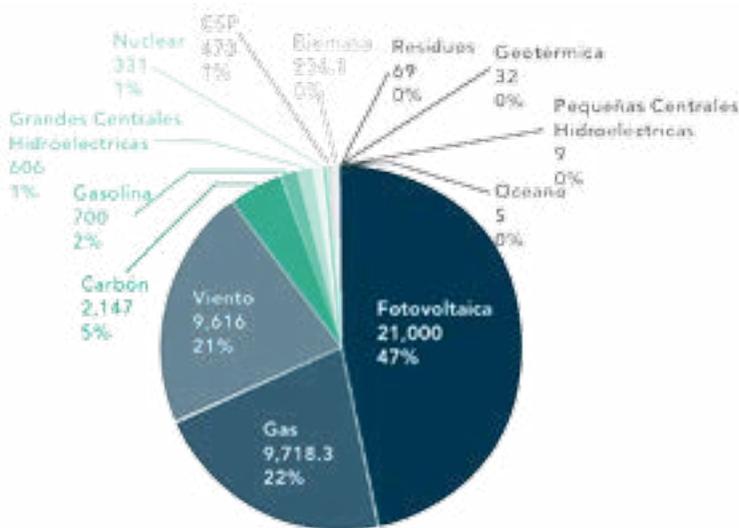


Figura 1.4: Nueva Capacidad Energética de la Unión Europea en 2011 (Fuente: European Wind Association)³²

China, el más grande productor de paneles solares fotovoltaicos, se ha convertido rápidamente en el mayor consumidor de productos relacionados con la energía solar. Después de triplicar su demanda de paneles solares en 2013, China se fijó la meta de la generación 14 GW a partir de energía solar. En otras palabras, China espera instalar en un año la misma capacidad en energía solar que Estados Unidos ha instalado en toda su historia. Las altas velocidades de instalación en China no son anómalas para mercados con crecimiento exponencial. Estados Unidos instaló una mayor capacidad en energía solar durante 2013 que en todos los años antes de que finalizara el 2011.

La carrera por la primacía en la energía solar ha comenzado. Nuevas compañías de energía solar en Silicon Valley como SolarCity, Sungevity y SunRun están instalando decenas de miles de plantas residenciales y comerciales en California y el resto de Estados Unidos, tal como Holanda y Australia. SolarCity se hizo pública en el año 2012 y para agosto de 2013 había cuadruplicado su valoración de mercado hasta los 2,9 billones de dólares. Para la consternación de la industria energética tradicional, SolarCity duplicó su valoración de mercado unos meses después.

Todas estas compañías de energía solar han desarrollado modelos de negocio innovadores e infraestructuras basadas en la tecnología de la información que les han permitido crecer de forma exponencial. La innovación en modelos de negocio se ha convertido en un punto clave para competir en el mundo de la energía solar.

Costos Decrecientes de la Energía Solar

John Schaeffer, fundador de Real Goods Solar y Solar Living Institute en Hopland, California (al norte de San Francisco), recuerda con cariño los días en que los paneles solares fotovoltaicos eran una rareza. En un evento reciente, Scheffer me comentó que los paneles fotovoltaicos solares eran muy inusuales en el comienzo de los 70, tanto que las fuerzas militares de Estados Unidos se acercaron a su puerta para preguntar porque vendió paneles que fueron propiedad de la NASA. El vendió estos paneles usados con un valor de \$90 por vatio. La industria energética tradicional puede haber hecho que muchos piensen que la energía solar aún tiene este costo.

En 1970, los paneles solares fotovoltaicos costaban \$100 por vatio (véase Figura 1.5). El emprendedor en energía solar Elliot Berman, fundador de Solar Power Corporation, introdujo una serie de innovaciones en los procesos de manufactura que redujeron los costos dramáticamente hasta los \$20 por vatio en 1973³³. Para

el 2008, los paneles solares fotovoltaicos costaban \$6 por vatio, una disminución del 94% desde 1970.

El costo de la energía solar ha disminuido dramáticamente desde entonces. Solo en el 2011, los costos de la energía solar disminuyeron un 50% y en 2012 un 20%.

Para el 2013, el precio de mercado de la energía solar fue cerca de 65 centavos de dólar por vatio. Solo tomo cinco años para que los costos de la energía solar disminuyeran otro orden de magnitud.

El costo de los paneles solares fotovoltaicos ha disminuido 154 veces (desde 100 \$/W hasta 65¢/W) desde 1970.

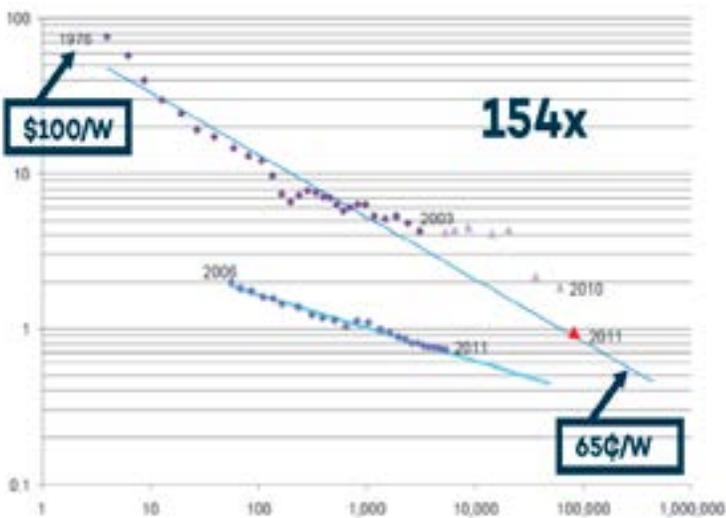


Figura 1.5: Curva de costos de los paneles solares fotovoltaicos. Desde 1970 han disminuido su costo por vatio 154 veces (Fuente del Gráfico: Bloomberg New Energy Finance, énfasis agregado por el autor)³⁴

El decrecimiento exponencial en los costos de la energía solar es algo de esperar de parte de la industria de la tecnología de la información, pero no de la industria energética.

Planteando un mundo en el cual el petróleo hubiese seguido una curva de costos similar a la anterior, se tiene que dado que en 1970 el precio del barril era \$3,18 y la gasolina³⁵ al por menor costaba \$0,36 por galón actualmente un barril de petróleo costaría 2 centavos de dólar y un galón de gasolina \$0,00234. Es decir,

cuatro galones de gasolina costarían cerca de un centavo. En este mundo imaginario se podría llenar un tanque de 15 galones por solo 3,5 centavos de dólar. Sin embargo, un barril de petróleo tiene un valor cercano a los \$100 y llenar un tanque más de \$50.

En el mundo real, los paneles solares fotovoltaicos son 154 veces más baratos de lo que eran en 1970 (los precios bajaron desde 100 \$/W hasta 65¢/W), mientras que el petróleo es 35 veces más costoso (los precios subieron desde 3,18\$/barril hasta 100\$/barril).

Al combinar estas cifras se obtiene que la energía solar ha mejorado su relación de costos 5.355 veces en relación al petróleo desde 1970. Si un ejecutivo llegase a pensar que alguna industria es capaz de competir con una tecnología que ha mejorado su relación de costos más de cinco mil veces con respecto a la suya, simplemente estaría en un proceso de negación y la quiebra estaría muy cerca. Esto se hace especialmente válido cuando los costos marginales de la competencia son cero. Recuerde a Kodak.

La energía solar ha mejorado su relación de costos referenciada a la de todas las fuentes energéticas tradicionales cientos de miles de veces desde 1970. El Cuadro 1.1 muestra como la mejora en la relación de costos de los paneles solares fotovoltaicos mantiene una relación con el incremento de los costos de las principales fuentes energéticas basadas en la extracción de recursos. Más adelante, en este libro se examinará cada fuente energética tradicional (petróleo, nuclear, gas natural y carbón).

Mejora de Costo Solar Desde 1970	Magnitud de Mejora	Ver Capitulo
vs Petróleo	5,355 x	7
vs Nuclear	1,540 x	6
vs Gas Natural	2,275 x	8
vs Carbón	900 x	10

Cuadro 1.1: Relación de costos de la energía solar referenciada a la de otras fuentes energéticas (Véase el capítulo correspondiente en este libro para más información)

Por otra parte, la energía solar sigue mejorando su relación de costos mientras otras fuentes de energía basadas en la extracción de recursos siguen aumentando sus costos.

Si se llega a creer que la energía solar no puede competir con el petróleo, hay que pensar con más detenimiento. La energía solar sustituirá al petróleo por dos vías (Este tópico se explica detalladamente en el Capítulo 7). La primera es desplazando el diésel y el kerosene, que aun proveen energía cara y contaminante para billones de personas en el mundo. La segunda es sustituyendo el remanente de la industria energética mientras que el vehículo eléctrico sustituye al vehículo con motor de combustión interna.

Los representantes de la industria energética tradicional esperan que los precios de la energía solar se estabilicen o incluso comiencen a aumentar³⁷. No tendrán tanta fortuna. La innovación en el campo de los paneles solares fotovoltaicos es implacable; la competencia en este campo es brutal. Ni siquiera el gigante energético GE pudo hacerse con el caliente mercado de los paneles solares³⁸. GE indicó que se mantendrá en este mercado pero enfocado a las finanzas e inversiones.

Los costos de la energía solar han estado decayendo rápidamente y se espera que lo sigan haciendo en el futuro previsible. Los costos están decreciendo gracias a la creciente innovación y competencia. La curva de experiencia de la energía solar (el equivalente a la Ley de Moore en energía solar) es de aproximadamente 22%. Esto quiere decir que cada vez que la industria dobla su capacidad, los costos disminuyen 22%. Esta tasa puede haberse visto acelerada en los últimos años.

Instalaciones de Energía Solar con Crecimiento Rápido

Algunos “expertos” en energía se mostraron bastante sorprendidos cuando MidAmerican Energy; de Warren Buffett, invirtió más de 2 billones de dólares en energía solar. Se mostraron aún más sorprendidos cuando se mantuvo añadiendo cientos de megavatios de proyectos en energía solar. Los expertos no estaban prestando atención.

David Crane, CEO de NRG Energy, si ha estado prestando atención y comentó “si hiciste una evaluación de los paneles solares hace un año, o incluso hace tres meses, esa evaluación está muy desactualizada”. NRG Energy es una compañía con ingresos anuales de 8,8 billones de dólares que básicamente produce electricidad a base de combustibles fósiles para 20 millones de hogares en Estados Unidos. NRG Energy invirtió en la energía solar con gusto.

Crane ha liderado con bastante habilidad la transición de su compañía para la disrupción solar en los últimos años y en 2011 dijo “estamos convencidos de que para 2014-2016 será más barato tomar energía de tu techo que de la red eléctrica”, “La energía solar va a pasar de lo que es hoy en día; el 0,1% del mercado a tener entre el 20 y 30% de todo el mercado energético. Eso es gigante”³⁹.

Además añadió “La energía solar cambiará el juego, como algo que nunca he visto en 25 años en la industria”.

MidAmerican Energy es una compañía de generación de energía regional con ganancias de 3 billones de dólares anuales que utiliza carbón para producir 58% de su energía. MidAmerican Energy ha invertido aproximadamente 5 billones de dólares en energía solar y está listo para cerrar siete plantas de generación de energía a base de carbón.

La energía solar ya ha superado las primeras etapas del ciclo de aceptación en Alemania y Australia. En Australia tiene una penetración del 11%; se pueden encontrar vecindarios donde el 90% de los hogares tienen instalaciones de paneles solares fotovoltaicos en los techos (véase Capítulo 3) en California, la energía solar ya es más barata que la proveniente de la red para una gran parte del mercado. “Más del 90% de nuestros cliente comenzaron a ahorrar dinero desde el primer día” comenta Danny Kennedy, cofundador de Sungevity, compañía enfocada a la energía solar radicada en Oakland.

Además, para 2015, dos tercios de la población estadounidense podrán comprar sin subsidios energía solar más barata que la que actualmente están consumiendo. Danny Kennedy, quien fue un ponente invitado en mi clase de energías limpias en la Universidad de Stanford, le dijo a la clase “Para el 2016, entre 40 y 50 millones de hogares en Estados Unidos tendrán que tomar una decisión: ¿queremos energía solar barata o energía cara proveniente de la red?”

La respuesta, parece clara. Los estadounidenses quieren energía barata y limpia. De acuerdo a las proyecciones del autor para 2022, existirán más de 20 millones de instalaciones solares en Estados Unidos.

La industria de la energía solar en Estados Unidos está innovando, creciendo exponencialmente y creando una industria trillonaria saludable y sostenible.

¿Por Qué las Instalaciones de Energía Solar son más Baratas en Alemania que en EEUU?

Mientras que el precio de los paneles solares ha decrecido dramáticamente, el costo total de una instalación de generación de energía solar sobre el techo no ha decaído tan rápido en Estados Unidos.

El costo de los paneles solares fotovoltaicos no representa el principal factor de costo en las plantas de generación de energía solar de uso residencial o comercial. Además de los paneles, los llamados costos suaves tienen ahora un mayor peso en el costo de las instalaciones. Los costos suaves incluyen permisos, regulaciones, impuestos, inspecciones e instalación.

Los permisos y las regulaciones, por ejemplo, son una porción relativamente significativa para el costo de las instalaciones solares. Un estudio realizado por la compañía de energía solar SunRun concluyó que tramitar un permiso añade un costo de \$2.516 por vatio a una instalación solar⁴⁰. Esto es casi tan costoso como los propios paneles. Mientras se escribe este libro, el costo de los paneles solares es de \$0,65 por vatio y está proyectado que descienda hasta \$0,36 por vatio para 2017⁴¹.

En Alemania el costo total de instalaciones solares pequeñas ha cayó hasta los \$2,26 por vatio (1,698 euros por vatio) a finales de 2012⁴². En Australia el costo promedio de una instalación de generación eléctrica a base de paneles solares fotovoltaicos de 5 kW en 2013 era aún menor; \$1,76 australianos por vatio (\$1,62 por vatio)⁴³.

En Perth, la instalación solar tenía un costo de solamente \$1,38 australianos por vatio (\$1,27 por vatio).

El costo total para una instalación de energía solar con fines residenciales o comerciales (por vatio instalado) en Estados Unidos ha sido consistentemente mucho más alto que en Alemania. En Estados Unidos casi se debe pagar el doble que en Alemania por instalaciones solares equivalentes.

A pesar de que los paneles, inversionistas y el hardware asociado, son comercializados mundialmente y tienen costos similares en ambos mercados, el consumidor estadounidense está pagando \$2,8 adicionales por cada vatio en comparación con el usuario alemán de acuerdo a un reporte presentado por el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley⁴⁴.

Incluso si los paneles solares no tuvieran ningún costo, los estadounidenses seguirían pagando mayores “costos suaves” que lo que los alemanes o los austrianos pagan por la instalación completa. De hecho, los “costos suaves” en Estados Unidos casi duplican el valor de un sistema completo en Perth, Australia⁴⁵.

A pesar del hecho de que el costo de las instalaciones solares en Estados Unidos es \$2,8 por vatio más costoso que en otros mercados del mundo, los paneles solares fotovoltaicos se han cuadruplicado en Estados Unidos durante los últimos años. Esto es un buen presagio para el futuro de la energía limpia. Solo con igualar a Alemania o Australia, los costos de la energía solar en Estados Unidos habrían caído otro 50 o 60%. El programa SunShot Vision del Departamento de Energía prevé un costo de \$1,5 por vatio para el 2020⁴⁶. Básicamente este departamento espera que tome un lapso de seis años igualar los costos de la energía solar en Australia.

Si se toma como referencia la curva de aprendizaje de la energía solar, los costos de esta caerán de forma más rápida y grande que lo esperado por los analistas del mercado.

Energía Solar sin Subsidios Vs. Precios Subsidiados de los Servicios

El más grande vendedor mundial de paneles solares, First Solar, ha dicho que su estrategia global es crear mercados para la energía solar que no dependan de subsidios gubernamentales⁴⁷. La energía solar sin subsidios ya es más barata que la energía a base de combustibles fósiles o nuclear subsidiada en cientos de mercados alrededor del mundo. Esta es una situación bastante interesante.

El costo de capital de construir una instalación solar pensada para servicios eléctricos, ha descendido por debajo de \$2 por vatio y está acercándose a 1 dólar por vatio. La decisión de cambiar a energía solar pronto no tendrá que ver con ser más ecológico sino con ser más ahorrativo. El mercado residencial por sí solo podría valer hasta 3 billones de dólares. El mercado comercial en Estados Unidos podría ser incluso mayor. Oportunidades disruptivas similares y con valores similares esperan a lo largo del mundo.

Greentech Media prevé que para 2017 el costo de los paneles solares descienda hasta 36 centavos de dólar por vatio⁴⁸. Por su parte, Citibank espera que para 2020 el costo descienda hasta 25 centavos de dólar por vatio (véase Figura 1.6)⁴⁹.

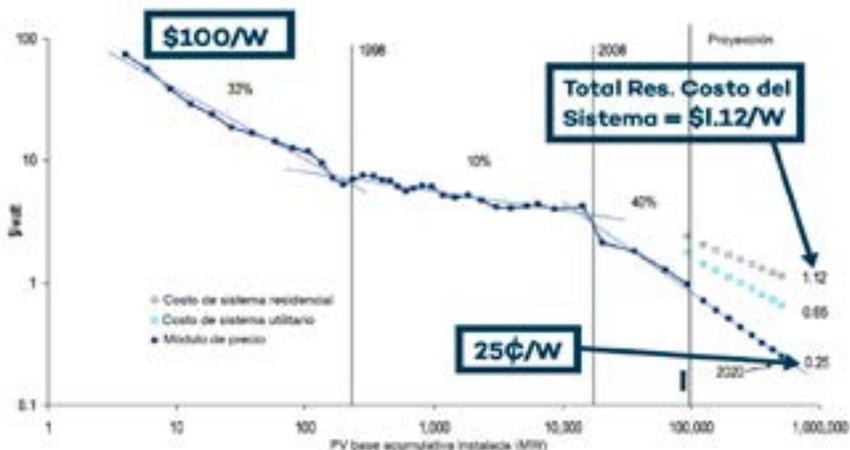


Figura 1.6: Costo histórico y previsto del costo de los paneles solares fotovoltaicos (Fuente: Citigroup, énfasis agregado por el autor)⁵⁰

Citigroup prevé adicionalmente que el costo total de instalación de paneles solares será de 65 centavos de dólar por vatio en plantas de energía solar pensadas para servicios eléctricos, mientras que el costo total para sistemas residenciales será de \$1,12 por vatio.

Lancaster, un Caso de Estudio para el Futuro de la Energía

¿Qué significa para la industria la energía solar económica y sin subsidios? Para tener una vista previa de que la disrupción se va a presentar, se puede observar el caso de Lancaster, California. El 26 de marzo de 2013, el ayuntamiento de esta ciudad aprobó una ley que indica que cada nueva casa construida debe contar con paneles solares.

Localizada a cientos de millas al noreste de Los Ángeles, Lancaster es una ciudad muy ambiciosa. En 2012, Jason Claude, diputado de la ciudad, me comentó que su ciudad de 155.000 habitantes tenía una capacidad de energía solar de 23 MW y 100 MW adicionales estaban esperando por los permisos de conexión. Asumiendo que todos estos permisos fuesen concedidos, Lancaster tendría 794 vatios solares por habitante, 60% más que Sonoma County, el actual líder estatal. Extrapolando este número para el resto del estado, El “Golden State” estaría generando 30,5 GW a partir de energía solar. El pico de demanda de California en

2011 fue de 60 GW. De manera que alcanzando los 30,5 GW, más de la mitad de la demanda energética californiana se cubriría con energía solar⁵¹.

Pero las ambiciones de Lancaster no parar allí, ya que pretenden ser la primera ciudad sin emisiones en el mundo. Para lo cual, Lancaster precisa una capacidad efectiva de cerca de 600 MW. Esto se traduce en que la ciudad de 155.000 habitantes espera tener una capacidad aproximada de 4 kW provenientes de energía solar por habitante.

Para alcanzar esta meta, Lancaster debe multiplicar sus números en un 300%. De manera que en Lancaster se han cambiado algunos procesos de regulación. Un permiso para una instalación solar residencial podría ser aprobado en tan solo 15 minutos, por un monto de \$61 (permiso = 31\$, transporte y documentos = 22\$ y trámite = 6\$).

Jason Claude me comentó que Lancaster planea tener un excedente de 50 MW generados a partir de energía eléctrica para ser vendido a sus vecinos por 8,5 centavos de dólar por vatio. ¿Es esto posible? A continuación se presentan mis cálculos de Costos Nivelados de Energía Solar (CNES) en Lancaster. Dado que el Costo de Capital (CC) es el principal determinante de los costos de la energía solar, se gráfica CNES vs CC. De manera que mis predicciones para el 2020 son:

- Incidencia Solar: 2400 kWh/m²/año.
- Eficiencia de los paneles solares: 15,9% (igual que en 2013)⁵².
- Costo de instalación de paneles por vatio: 1,12\$⁵³.
- Operación y mantenimiento: 1% del costo de la planta instalada.
- Seguro: 0,3% del valor de la planta instalada.

En 2020, el costo de instalaciones para la generación de energía solar sobre los techos en Lancaster costará entre 3,47 centavos de dólar por vatio y 6,62 centavos de dólar por vatio, dependiendo del costo de capital (véase Figura 1.7).

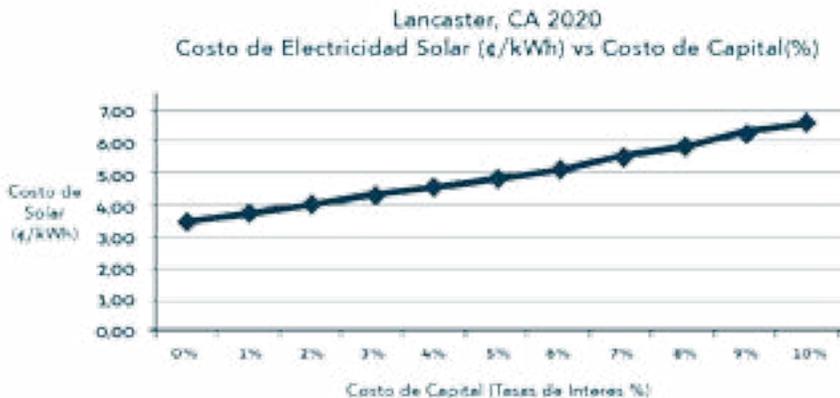


Figura 1.7: Costo de la energía solar vs costo de capital en Lancaster, 2020

El único factor asumido en el cálculo que difiere significativamente con los precios actuales de mercado actual en Estados Unidos es el costo de instalación de paneles por vatio. Para el cálculo se usó la proyección de Citigroup. ¿Qué tan optimista es esta previsión?

El costo de instalación de sistemas residenciales de energía eléctrica en Perth, Australia en 2013 era de solo \$1,38 australianos por vatio (\$1,27 por vatio) ⁵⁴.

Básicamente el Citigroup prevé que Estados Unidos precisará de seis años para llegar a este nivel de costos.

En Lancaster, los paneles solares serán parte integral de cada nuevo hogar, estarán en ventanas y puertas, de forma tal que estos se podrán financiar conjuntamente con la hipoteca. Asumiendo tasas hipotecarias en Estados Unidos de 3,47% (fijas a 15 años) el costo de instalaciones solares residenciales en Lancaster disminuye a cerca de 4,4 ¢/kWh. Ninguna otra fuente energética puede funcionar a un costo tan bajo. Solo es costo de transmisión y distribución sería mayor. Las empresas eléctricas no podrán competir una vez que los costos de la energía solar al por menor sean 4,4 ¢/kWh.

Plantas centralizadas basadas en la extracción de recursos (petróleo, gas, carbón o nuclear) estarán fuera del negocio al por menor para ese momento. En efecto, actualmente están siendo ampliamente derrotadas en el mercado energético mayorista. Las plantas energéticas tradicionales tendrán una nueva connotación en el mercado de valores: activos varados.

¿No se puede creer que el costo de la energía solar será menos de 5,5 ¢/kWh en 2020? De acuerdo con Jason Claude, en estos momentos, en Lancaster, ya se están pagando solo 10 ¢/kWh en los edificios construidos para ser alimentados con energía solar⁵⁵. Además añade “las compañías de servicios están cobrando 18 ¢/kWh” y concluye “por lo tanto ya nos encontramos ahorrando dinero”.

Los costos de los paneles eléctrico fotovoltaicos están decreciendo, los costos de las instalaciones están decreciendo, los costos de capital están decreciendo y los costos de mantenimiento están decreciendo. Sería sorprendente si Lancaster no alcanza costos de 5 ¢/kWh para el 2020.

Es importante notar que los líderes en Lancaster son ambiciosos y comprometidos con la energía solar. El alcalde Rex Parish ha afirmado “seremos una ciudad con cero emisiones en tres años” y para alcanzar esta meta la ciudad ha construido tuberías para la transmisión de energía solar con capacidad de 700 MW⁵⁶.

Si alcanza su meta Lancaster no solo será una ciudad libre de emisiones, será además un exportador de energía. Además habrán alcanzado su meta en cuanto a la energía solar en menos de una década.

¿Qué Tan Rápido Puede Presentarse la Disrupción de la Energía Solar?

¿Es extrapolable el caso de Lancaster a un nivel nacional o mundial? Si Estados Unidos tuviese la aceptación de la energía solar de Lancaster de 4kW por habitante, este tendría una capacidad de 1,2 TW, es decir, todo el requerimiento energético del país. Lancaster muy probablemente alcanzará su meta para el 2020. ¿Qué pasa con el resto de Estados Unidos?

Los escépticos argumentan que llevará décadas construir la infraestructura necesaria para poder dar sustento a la energía solar. Defienden que aún si la energía solar se hace más económica que la energía tradicional, no se pueden construir decenas de millones de instalaciones solares en una sola década. Sin embargo, estas personas olvidan que cuando se presenta un cambio disruptivo, este actúa con mucha rapidez. Solo hace falta preguntar a cualquier persona por su cámara de película fotográfica favorita, o su telégrafo favorito o máquina de escribir favorita.

Ya he explicado como Australia es un claro ejemplo de lo rápido que el mercado puede aceptar a la energía solar. Allí se pasó de prácticamente no tener ningún hogar con instalaciones solares a tener más de un millón de ellos en casi cuatro años. Cerca de 2,6 millones de australianos (11% de la población) cuenta hoy en día con instalaciones solares en sus techos⁵⁷.

La población de Estados Unidos es cerca de 10 veces la de Australia, de manera que una tasa similar de aceptación se traduciría en 10 millones de nuevas instalaciones en aproximadamente cuatro años. ¿Acaso los “expertos” en energía consideran esto posible en Australia pero no en Estados Unidos?

Existen cerca de 300.000 instalaciones solares en Estados Unidos ¿es realmente posible llegar a 10 o 20 millones tan rápido como lo hizo Australia? ¿Existe la cadena de suministros y la fuerza laboral para instalar 10 millones de sistemas de generación a partir de energía solar sobre los techos en tan corto tiempo?

Por motivos comparativos, se puede considerar la experiencia de otra tecnología disruptiva que precisó instalaciones sobre los techos para definir si los estadounidenses pueden adoptar la tecnología de la energía solar de forma tan rápida.

Disrupción de las Instalaciones sobre los Techos de DirecTV

En 1994 una nueva compañía llamada DirecTV lanzó un servicio de televisión multicanal que era transmitido directamente al techo de los hogares a través de antenas parabólicas. La compañía ofrecía con su satélite de transmisión directa (DBS, por sus siglas en inglés) una alternativa viable a la televisión por cable tradicional.

La tecnología de las antenas parabólicas se ha estado mejorando exponencialmente por años. En 1984 las antenas residenciales alcanzaban los 10 pies de diámetro, costaban hasta \$5000 y podían transmitir hasta 27 canales. Para 1994 estas se habían reducido hasta las 18 pulgadas, con un costo de \$700 y una capacidad de transmisión de 175 canales⁵⁸.

¿Podía DirecTV competir con el monopolio de las tradicionales compañías de televisión por cable? ¿De ser así, cuanto podían crecer las ventas? Ya que los trabajadores tenían que llegar a los techos de las construcciones, asegurarse de que eran estables, hacer las conexiones, entre otras cosas. ¿No se quejarían los vecinos de estos extraños artefactos apareciendo sobre todos los techos?

La nueva tecnología de DirecTV, pasó de su presentación al mercado a cerca de 10 millones de suscriptores en tan solo cinco años (véase Cuadro 1.2). Su penetración de mercado alcanzó el 10% de los hogares con sistemas de televisión.

Año	Número Total de Viviendas TV Adquiriendo DBS (millones)	% Penetración del Mercado de Viviendas TV con DBS (%)
1	1.15	1.21
2	3.076	3.21
3	5.076	5.25
4	7.358	7.55
5	9.989	10.16

Cuadro 1.2: Aceptación de instalaciones sobre el techo de DBS (Fuente: Frank M. Bas et al.)⁵⁹

La instalación de paneles solares fotovoltaicos es más compleja que la instalación de antenas satelitales, pero el punto está en que un equipo bien entrenado puede hacer la instalación en unas pocas horas. Nótese que tanto el lapso de tiempo (cinco años) como el porcentaje de penetración en el mercado (10%) son similares a la aceptación de las instalaciones solares residenciales en Australia (cuatro años y 11%).

Usando la tecnología para la logística que tenía DirecTV en 1994, diez millones de instalaciones solares sobre los techos podrían construirse en Estados Unidos en cinco años.

Las computadoras son literalmente mil veces más poderosas que las de 1994 (Esta es la Ley de Moore en acción). La industria de la logística ha mejorado en varios órdenes de magnitud desde que DirecTV lanzó su producto hace cerca de dos décadas. DirecTV no contaba con internet móvil, una infraestructura en la nube o capacidad analítica para grandes cantidades de datos. El concepto de la planeación de recursos empresariales apenas estaba comenzando. Aún faltaban años para la concepción de Google Maps y Google Earth.

Además, lo mejor de las tecnologías para la logística está disponible como servicios basados en la nube hoy en día. Hoy en día hay docenas de compañías de energía solar con el talento y los fondos para asumir estas operaciones.

Si DirecTV, una sola compañía, pudo instalar 10 millones de satélites en solo cinco años usando tecnologías de logística hoy en día obsoletas (de 1994), no hay una sola razón técnica por la cual una compañía no pueda instalar 10 millones o

100 millones de sistemas de generación de energía solar usando la tecnología existente. Si una sola compañía puede hacerlo, será aún más fácil para las diez mejores compañías del campo pueden hacerlo conjuntamente. Estas compañías pueden incluir la financiación de parte de terceros como SolarCity, Sungevity, SunRun, Vivint Solar y Verengo. De igual manera, compañías australianas con experiencia en el campo pueden brindar ayuda.

Cuando los costos de la energía solar alcancen el punto de no retorno, los impedimentos para construir 10, 40 o 100 millones de instalaciones solares en una década no serán técnicos. Los impedimentos serán políticos, legales y de regulaciones (y probablemente serán colocados allí por la industria energética tradicional).

La Primera Planta de Energía Solar de Operación Ininterrumpida del Mundo

En el futuro cercano las plantas de energía solar serán tan abundantes como hoy en día lo son los computadores personales. Generan energía bajo demanda. En junio de 2011 estuve en el sur de España para presenciar el Gemasolar, una planta de energía solar capaz de generar durante todo el día.

Construida por Torresol Energy, Gemasolar es una planta de energía solar con 19,9 MW de capacidad y la posibilidad de almacenamiento de 15 horas de energía térmica, lo que permite la producción de energía durante el día y la noche. (Se puede ver el video de mi visita a Gemasolar en <https://www.youtube.com/watch?v=GhV2LT8KV!A>).

La producción esperada por esta planta es de 110.000 MWh por año, suficiente energía para alimentar a 25.000 hogares de acuerdo con Santiago Arias, Cofundador y jefe de infraestructura de Torresol. Dado que esta planta es capaz de almacenar energía, es equivalente a una planta solar de 50 MW sin esta capacidad, de acuerdo a Arias.

Baterías Solares de Sal

La batería de Gemasolar consiste en dos tanques de derretida para el almacenamiento de la energía térmica. La batería permite a la planta la generación de energía bajo demanda, en las noches, en días nublados, cuando llueve, días o semanas después. Los tanques de almacenamiento de sal derretida (MSES, por

sus siglas en inglés), también llamados baterías solares de sal, son térmicas, no químicas, como las baterías de ion litio que accionan vehículos eléctricos como el modelo S de Tesla (véase Capítulo 4).

MSES usan una combinación de 60% de nitrato de potasio y 40% de nitrato de sodio que retienen el 99% del calor hasta por 24 horas, o dicho de otra forma, la batería solo pierde 1% de su energía térmica al día.

El nitrato de potasio resulta ser más seguro y económico que la mayoría de los químicos utilizados en otras baterías. Durante la edad media europea, el potasio era usado para conservar los alimentos. El nitrato de potasio es usado aún hoy día para la carne en conserva⁶⁰, la pasta dental (para dientes sensibles) y en fertilizantes de jardín. El costo de capital de las MSES es relativamente bajo, alrededor de \$50 por kWh, una décima del costo de las baterías de ion litio.

Gemasolar no es la primera planta comercial de energía solar que utiliza MSES. A solo 300 km (186 millas) al sur de Gemasolar en la autopista A94 de Andalucía, se encuentra Andasol-1, una planta solar de 50 MW que ha estado operando con una batería de 7,5 horas desde 2009. Gemasolar básicamente lo que hizo fue duplicar la capacidad en sus baterías hasta 15 horas.

Santiago Arias espera que Gemasolar pueda producir electricidad por cerca de 6.400 horas por año con un factor de capacidad de 75%. En contraste la Hoover Dam tiene un factor de capacidad del 23% y la gran hidroeléctrica china de las Tres Gargantas (Three Gorges Dam) tiene un factor de capacidad del 50%.⁶¹

De acuerdo a un estudio llevado por el profesor Michael Maloney de la Universidad de Clemson, en 2003 el factor de capacidad de los reactores nucleares de Japón, Francia y Estados Unidos oscilaba entre 65 y 72% y el factor de capacidad mundial era 69,4%.⁶² Estos cálculos se realizaron antes del desastre nuclear de Fukushima el cual prácticamente destruyó la industria nuclear japonesa.

Cómo el Almacenamiento de Energía Cambia Todo

Santiago Arias, jefe de infraestructura de Torresol, comenzó a construir plantas energéticas hace 38 años. En el campo del mercado de la electricidad, le causa emoción acerca del impacto de una planta solar trabajando de forma ininterrumpida y comenta que “la mayor demanda energética se presenta en las tardes de los días más calurosos del año”. El mercado paga precios Premium para la electricidad durante estos picos. Una planta de energía solar es capaz de producir en su máxima capacidad precisamente en los días más soleados.

Además Arias añade “La posibilidad de almacenar energía cuando la irradiación solar es máxima y utilizarla en el momento que se produce un pico en la demanda cambia todo lo referido a la industria energética. El costo de mi combustible es cero. El gas natural no puede competir contra esto”.

Energía Solar Nocturna: La Energía Solar 24-7 ha Llegado

Estados Unidos está construyendo una gran infraestructura solar tanto de concentración de energía solar como de paneles solares. Sin incluir las instalaciones residenciales o comerciales, existen en Estados Unidos más 4.200 MW en proyectos en construcción y 23.000 MW en proyectos en desarrollo, de acuerdo a la Asociación de Industrias en Energía Solar⁶³.

Para principios de 2014, La compañía radicada en Los Ángeles, SolarReserve está planeando encargar la más grande planta solar de funcionamiento continuo con una capacidad de 110 MW. Ubicada en el pueblo de Tonopah, en Nevada, esta planta es cerca de cinco veces más grande que Gemasolar en España. Dicha planta venderá su energía para alimentar a Las Vegas durante las tardes. Los avisos de Las Vegas, muy pronto estarán iluminado con energía solar.

En una escala mucho menor, la nación insular de Tokelau en el Pacífico Sur, se convirtió en el primer país del mundo alimentado 100% por energía solar. La energía irradiada sobre tres atolones durante el día, es almacenada en bancos de baterías para ser utilizada en las noches. Tokelau cambió su alimentación energética basada 100% en el diésel a una basada 100% en la energía solar en menos de un año.

La Disrupción Solar Está Aquí

Gran parte del remanente de este libro explica porque la energía solar sustituirá la industria energética tradicional. Yo he estado en este punto antes. El crecimiento exponencial de la energía solar me recuerda en Cisco Systems, para entonces una compañía mucho más pequeña que la actual.

Yo trabajé como desarrollador de negocios en Cisco Systems en 1993. Aún me recuerdo observando el crecimiento del internet y pensando “si el mercado continua creciendo a este ritmo, habrán un billón de dispositivos en una década”. En

aquel momento muchos me miraban de forma extraña al escucharme. La mayoría de las personas no sabían lo que era internet en aquel momento, de manera que no podían creer que ellos y otro billón de personas tendrían un dispositivo conectado a internet muy pronto.

En 1990 solo existía un (sí, solo uno) servidor web y solo un navegador web. Los dos corrían en la computadora NeXT de Tim Berners-Lee en el CERN en Suiza⁶⁴. El primer servidor web fuera de Europa vio la luz en el Stanford Linear Accelerator Center (SLEC) en Palo Alto, California en 1991⁶⁵. Hoy en día existen más de 10 millones de dispositivos interconectados⁶⁶.

La energía solar lleva una trayectoria exponencial similar. Mundialmente la capacidad en energía solar ha crecido de 1,4 GW en 2000 hasta 141 GW en 2013. Lo que se traduce en una tasa de crecimiento anual de 43%.

Si este ritmo de crecimiento continúa para el año 2030 la capacidad mundial en energía solar será de 56,7 TW. Esto es el equivalente a 18,9 TW provenientes de energías tradicionales. El requerimiento energético mundial está previsto para 16,9 TW en 2030 de acuerdo a la Agencia de Información Energética de Estados Unidos.

En caso de que la energía solar continúe con su crecimiento exponencial, la infraestructura energética estará completa para el año 2030.

Esta premisa de que el mundo consumirá 100% de energía solar usualmente genera la misma mirada de perplejidad que generaba mi previsión de 1 billón de nodos de internet interconectados hace veinte años. La pregunta es ¿Puede seguir creciendo de forma exponencial la energía solar por diez o veinte años?

La respuesta es que la tasa de crecimiento de la energía solar se podría incluso incrementar. Es una regla que cuando un producto tecnológico alcanza su punto de no retorno su crecimiento en el mercado se acelera.

Dado que la energía solar se está acercando al punto de no retorno en muchos mercados del mundo, un ciclo virtuoso de aceptación en el mercado permitirán que el crecimiento de la energía solar se acelere:

- La disponibilidad de capital aumenta y los costos de capital decrecen.
- La generación de energía de forma local y distribuida aumenta.
- La arquitectura de la energía cambia de centralizada a distribuida.

- Tecnologías como los sensores, inteligencia artificial, grandes volúmenes de datos y comunicaciones móviles mejoran exponencialmente.
- El costo de las fuentes de energía tradicional aumenta.
- Mercados complementarios como la energía eólica y los vehículos eléctricos y autónomos crecen exponencialmente.
- Los inversionistas se enfocan en nuevas tecnologías de almacenamiento motivado por la energía solar, eólica y los vehículos eléctricos y autónomos.
- La arquitectura de la energía se hace cada vez más distribuida.
- La industria energética tradicional entra en un vicioso ciclo de aumento de precios y activos varados.

Las tendencias que apuntan a este escenario solar (y eólico) ya se están sintiendo. De acuerdo con un informe hecho por el Operador del Mercado Energético Australiano (AEMO) 97% de todas las nuevas fuentes energéticas conectadas a la red eléctrica en 2020 serán de origen solar o eólico⁶⁷. Después de esto, se trata de retirar todas las plantas de generación basadas en energías sucias para que toda la alimentación sea solar o eólica.

La disrupción causada por estas tecnologías de crecimiento exponencial y los nuevos modelos de negocios está generando una cultura participativa en cuanto a las finanzas y la energía. Muchos “expertos en energía” tradicionales tratan de decir lo contrario; diciendo que esto será muy caro y tomará muchas décadas o hasta un siglo para concretarse. Pero estos son como los “expertos” que la industria de las telecomunicaciones uso para realizar sus previsiones.

En 1985 AT&T contrató a McKinsey & Co, una gran firma de consultoría, para predecir cómo sería el mercado de los celulares en Estados Unidos para el año 2000. McKinsey previó que menos de un millón de celulares serían vendidos ese año.

AT&T que fue quien prácticamente inventó el campo de las comunicaciones inalámbricas, decidió no ingresar al negocio de los celulares dada la pequeña tasa de mercado que representaba. Las inversiones aconsejadas por los “expertos” en el campo de las telecomunicaciones de los años 80 estaban en contra del auge de los teléfonos celulares. Para el año 2000, la cifra real de venta de teléfonos celulares fue de 106 millones. Las predicciones de los “expertos” en telecomunicaciones estuvieron erradas por una factor de 100. AT&T eventualmente pagó 12,8 billones de dólares a McCaw para tratar de reingresar al campo en 1994.

Más de 6 billones de personas poseen un teléfono celular en un mundo habitado por 7 billones de personas⁶⁸. Para poner esto en contexto, considere que de acuerdo a las Naciones Unidas, solo 4,5 billones de personas en el mundo tienen acceso a un inodoro. De manera que más personas tienen acceso a un teléfono celular que a un inodoro. Más de 2.800 años han transcurrido desde la invención del inodoro en Minoa; más de 2.000 años han transcurrido desde que Roma inventó un sistema de cloacas funcional⁶⁹. Aun así el teléfono celular supero al inodoro en dos décadas.

Además se debe admitir que construir una infraestructura, inalámbrica, basada en los bits es más fácil que construir una infraestructura centralizada, basada en cableados y átomos.

Existe una gran cantidad de ejemplos que han sustituido industrias trillonarias. Pueden ser dos décadas o incluso dos años. Kodak era aún un gigante de la fotografía para el año 2003. Los smartphone solo ocupaban un pequeño nicho del mercado antes de que Apple introdujera el iPhone en 2007. Las tablets prácticamente no existían antes de que Apple introdujera el iPad en 2010.

El iPhone y el iPad estuvieron caracterizados por el crecimiento exponencial. Se debe considerar que el crecimiento exponencial no es intuitivo, es difícil de imaginar. Pero cuando un producto comienza a crecer con un ritmo exponencial, se debe prestar atención. Diez o veinte años de crecimiento exponencial pueden tener un efecto enormemente disruptivo.

La energía solar cambiará disruptivamente el campo de la energía. Pero la disrupción del mercado no está referida únicamente a innovadoras tecnologías acabando con productos e industrias existentes.

La innovación en los modelos de negocios, es tan importante como la innovación tecnológica cuando se espera cambiar disruptivamente una industria. Para poder entender la disrupción de los modelos de negocios, se deben entender las finanzas y las innovaciones financieras.

Capítulo 2:

Finanzas en la Disrupción de la Industria Energética

“La innovación en los modelos de negocio es más importante que la innovación tecnológica.”

Abe Reichental, CEO, 3D Systems, 2013

“La forma más común en que las personas renuncian a su poder es pensando que no lo tienen”

Alice Walker

“La verdad es que ninguna base de datos virtual sustituirá tu periódico”

Clifford Stoll, astrónomo y autor

En 1918 una de cada trece familias estadounidenses poseían un carro. Once años después el 80% de las familias estadounidenses poseía un carro. La principal razón por la cual el carro pasó de una baja aceptación hasta una penetración casi total del mercado, fue una innovación introducida por General Motors. Esta innovación nada tuvo que ver con la tecnología de los motores, los sistemas de transmisión u otras innovaciones tecnológicas.

En 1919 GM se asoció con DuPont para formar la General Motors Acceptance Corporation (GMAC). El propósito de esta corporación era ofrecer préstamos para los compradores de vehículos⁷⁰. Siete años después, 75% de los poseedores de un vehículo lo habían adquirido por medio de un crédito.

Esto fue una innovación financiera por parte de GM y DuPont, no una innovación tecnológica. Se hicieron accesibles los carros para la mayoría de los consumidores estadounidenses. En otras palabras, la industria del transporte fue sustituida gracias a un modelo de negocios que no se conocía hasta entonces. La industria energética actual, está siendo sustituida por un nuevo modelo negocios.

Nuevo Modelo de Negocio para la Energía Solar

En 2008, una compañía llamada SunEdison introdujo el concepto de la energía solar como un servicio. Los consumidores de energía solar residencial y comercial no van a requerir inversiones de capital para la adquisición de paneles solares.

SunEdison se ofreció a financiar, poseer, instalar y mantener los paneles solares colocados en los techos de sus compradores. Esta compañía se encargó de hacer esto sin recibir un pago inicial. Los dueños de los hogares no tomaron ningún riesgo tecnológico, financiero o de mantenimiento. Estos firmaron un contrato a 20 años con SunEdison, luego de lo cual los usuarios tienen la posibilidad de comprar el equipo con un gran descuento o que el mismo fuese retirado de su techo.

Poco después de SunEdison, otra compañía de Silicon Valley llamada SolarCity creó el arrendamiento solar (SolarLease) con lo cual el mercado solar explotó. Bajo el plan del arrendamiento solar, en vez de comprar los equipos, los usuarios los alquilaban. El concepto fue aceptado y otras compañías de Silicon Valley como Sungevity y SunRun se unieron a la tendencia de ofrecer el arrendamiento solar o acuerdos para la adquisición de energía solar (o acuerdos PPA, como son conocidos en la industria por sus siglas en inglés).

Estas compañías ofrecieron a sus clientes una innovación financiera: acuerdos para la instalación de sistemas de energía solar sin pagos iniciales y con tarifas planas a lo largo de la duración del contrato (14 a 20 años).

Existen dos formas principales para contratar la energía solar como servicio:

- Los PPA (acuerdos para la adquisición de energía solar); donde el cliente se compromete a comprar la electricidad generada por los paneles solares a una tasa fija por kWh durante la duración del contrato.
- El arrendamiento solar; donde el cliente se compromete a pagar una cuota fija por el uso de paneles solares sin importar la producción energética.

Bajo ambas modalidades las compañías se encargan de comprar, financiar, instalar y mantener los paneles solares y la tecnología complementaria sin cargos para los clientes. Los consumidores de energía solar están teniendo la misma oportunidad que tuvieron los consumidores de automóviles hace casi un siglo: pueden comprar energía solar con su dinero, pero por medio de un crédito o en su defecto alquilarla.

Estas innovaciones financieras han funcionado. El mercado para los paneles casi se ha duplicado cada año desde 2009 con una tasa de crecimiento anual de 97%. La mayoría de este crecimiento se dio gracias a terceros de financiamiento.

Para mediados del 2012, el porcentaje de instalaciones solares residenciales financiadas por terceros pasó de menos del 10% hasta casi el 80% en California, Colorado y Arizona (véase Figura 2.1). Estos porcentajes continúan incrementándose. De manera que cerca del 80% de las instalaciones solares residenciales están siendo financiadas por terceros⁷¹. En Colorado el número es cercano al 90%.

Esta innovación en el modelo de negocios fue tan exitosa, que la revista *Scientific American* catalogó los planes de energía solar sin cuota inicial como una de las “20 ideas para cambiar al mundo” en 2009.⁷²

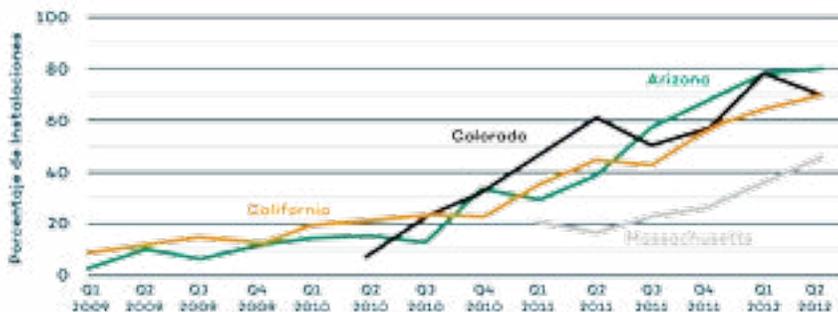


Figura 2.1: Porcentaje de instalaciones de energía solar financiadas por terceros (Fuente: SEIA y GTM Research)

Crecido más de 144% y el arrendamiento había crecido en 78,8%⁷⁵, el precio de sus acciones se vio cuadruplicado hasta los \$40, lo que le dio a la compañía una valoración implícita de 2,9 billones de dólares⁷⁶. Las acciones duplicaron su valor nuevamente solo unos meses después.

Tal como lo hizo la industria automotriz hace casi un siglo, la energía solar se catapultó gracias La financiación por parte de terceros también evitó que los clientes acudiesen a los bancos para obtener créditos para instalaciones solares.

Por otra parte, la financiación por parte de terceros cambio el panorama para la energía solar. Las compañías tradicionales has utilizado la idea de la recuperación de la inversión para desalentar a sus clientes de la migración hacia la energía solar. Argumentan que toma muchos años para poder recuperar la inversión inicial asociada a la implementación de sistemas de energía solar. Este concepto está basado en dos supuestos:

- El consumidor pagará dinero (o lo conseguirá prestado) para la adquisición de paneles solares.
- El consumidor pagará inicialmente más por la electricidad producida a base de energía solar, pero como el precio de la energía tradicional va aumentando y para la energía solar se mantiene fijo, el cliente eventualmente recuperará la inversión realizada.

La financiación de terceros le dio la vuelta a este concepto. Tal y como lo planteó Danny Kennedy, cofundador de Sungevity, hablándole a mi clase de Stanford en 2012 “¿Qué importancia tiene la recuperación de la inversión cuando no ha sido

necesario realizar ninguna inversión y se comienza a ahorrar dinero desde el primer día?”

Para el momento en que la compañía SolarCity se hizo pública en 2012, una de las pioneras en el financiamiento por parte de terceros, había alcanzado más de 1,3 billones de dólares en capital para financiamiento del proyecto. En junio de 2013, SunRun, alcanzó más de 630 millones de dólares de parte de JPMorgan Chase, US Bank y otros, para el financiamiento de instalaciones solares residenciales⁷³. Vivint Solar alcanzó más de 740 millones de dólares. Clean Power Finance maneja 500 millones de dólares para el financiamiento de instalaciones solares⁷⁴.

SolarCity se hizo pública en Diciembre de 2012 con un valor de \$9,25 por acción. Para agosto de 2013, cuando se anunció que la capacidad de energía solar en vatios había crecido más del 144% por cien y los ingresos por alquiler habían subido un 78.8%⁷⁵, el valor de la compañía se cuadruplicó a aproximadamente \$40 por acción dando a la compañía una valoración implícita de \$2.9 billones de dólares.⁷⁶ Su valor se duplicó de nuevo en los siguientes meses.

Tal como la industria automotriz había hecho un siglo antes, la energía solar se disparó al tejado, literalmente, debido a una innovación en el modelo de negocios.

La Caída de los Costos de la Energía Solar

Las semejanzas entre los principios de la industria automotriz y la industria de la energía solar actual no terminan en este punto. Además de la filosofía de los préstamos, otro factor clave permitió a la industria automotriz tener un hipercrecimiento fue la disminución de los costos. De hecho, los costos se redujeron significativamente gracias a la competencia, la escala del negocio y la innovación.

En 1908, el modelo T de Ford era vendido por \$850, lo que lo colocaba fuera de alcance para el estadounidense con salario promedio. Para 1914, el costo de este modelo era de \$490. Para 1921, el costo había alcanzado los \$310; una disminución de 62% en trece años.

Al comparar la caída de los precios de los vehículos entre 1908 y 1921 con la caída de los precios de la energía solar, se tiene que en 2009, una instalación solar de 4 kW tenía un costo promedio de \$32.000 (antes de los incentivos)⁷⁷. Con este precio, el costo de las instalaciones solares estaba por encima del ingreso promedio de los estadounidenses, que en 2009 se ubicaba en \$26.684⁷⁸. Sin embargo, los costos de los paneles solares decayeron un 50% solo en 2011 y

cerca de un 90% desde 2008. El costo de la energía solar ha disminuido más y más rápido que el costo de los vehículos en el siglo pasado.

Una vez que alcanzó el punto de no retorno, le tomo poco más de una década (1908-1921) a la industria automotriz sustituir al negocio del transporte basado en los caballos. ¿Se podría esperar la misma curva de aceptación para la energía solar? ¿Qué la está retrasando?

Costos Captales y Costos de Capital

Mientras que los “costos suaves” son los principales costos captales para la instalación de sistemas de energía solar, los costos de financiamiento de las plantas de energía solar han pasado a ser el factor más importante en el costo de la energía solar (el costo nivelado de la energía). Cuando se adquiere una casa con una hipoteca a 30 años, la mayor parte del dinero pagado mensualmente se utiliza para cubrir los intereses. Lo mismo ocurre para el financiamiento de plantas de energía solar.

El costo del combustible (el Sol) es nulo. Los costos de operación y mantenimiento son cercanos a cero. Es necesario lavar los paneles de vez en cuando (Pero incluso la lluvia puede hacerse cargo de esto), y cambiar el transformador una vez cada diez años aproximadamente (El transformador toma la corriente continua (DC) producida por los paneles y la transforma en corriente alterna (AC), la cual es usada en los hogares). Consecuentemente el costo de tomar dinero prestado (intereses) representa la mayor parte del dinero a ser pagado por los usuarios de energía solar.

De acuerdo a Lyndon Rive, CEO de SolarCity un punto porcentual en el costo de capital reduces los costos del proyecto en un aproximado de 20 centavos de dólar por vatio. ¿Qué está retrasando a la energía solar? Básicamente, Rive piensa que la industria ha estado pagando “las tasas de interés de las tarjetas de crédito” para financiar instalaciones solares.

A pesar de esto, las innovaciones financieras han demostrado que son capaces de destrabar rápidamente el mercado de la energía solar. El concepto de los PPA o el arrendamiento solar mencionados anteriormente, son el comienzo de un amplio menú que estará disponible para el mercado de la energía solar.

Caso de Estudio: Financiamiento PACE en Sonoma

Uno de los primeros programas para probar la importancia de la disponibilidad de capital accesible para la producción de energía solar, fue llevado en Sonoma, California.

Para finales de 2011 Sonoma tenía 500 vatios producidos a partir de energía solar por habitante y 4,5 instalaciones solares por cada 100 habitantes⁷⁹. Esto podría no parecer demasiado, pero si se extrapolan estas cantidades para los 38 millones de habitantes de California; el estado contaría con 19 GW y 1,7 millones de instalaciones solares. De hecho una proporción similar a la de Sonoma, sobrepasaría el objetivo de generación del Golden State para 2020 (12 GW) por un factor de 45% y del número de instalaciones solares (un millón) por un factor de 70%.

Sonoma alcanzó estos números en menos de tres años, en medio de una crisis financiera nacional y a pesar de una feroz oposición por parte de la Agencia de Financiamiento para Vivienda de Estado Unidos. Sonoma estaba claramente haciendo las cosas de forma acertada.

La base del programa de energía solar de Sonoma fue el Programa de Independencia Energética de Sonoma (SCEIP, por sus siglas en inglés). El SCEIP es un programa de financiamiento PACE Establecido en marzo de 2009, tiene como meta “mejorar el rendimiento en 80% de los espacios residenciales y comerciales de Sonoma hasta los más altos niveles de eficiencia”.

Conceptualmente, PACE en un centro de financiamiento local mediante el cual los gobiernos municipales pueden aprovechar el capital privado para financiar proyectos de eficiencia energética y energía limpia para uso residencial o comercial. El financiamiento se da mediante la valoración de los impuestos de las propiedades residenciales o comerciales.

PACE es una variación del sistema sin cuotas iniciales para la energía solar que Scientific American catalogo como una de las “20 ideas para cambiar al mundo”. PACE es un programa de financiamiento accesible y con intereses bajos que permite a los usuarios mejorar sus residencias o comercios con energía limpia y eficiente.

El programa PACE de Sonoma cuenta con las siguientes características:

- El financiamiento toma la forma de una valoración, no de un préstamo. A diferencia de los préstamos, las valoraciones está ligado a la propiedad y no los usuarios. Esto reduce el riesgo financiero de forma dramática.

- La valoración toma la forma de un gravamen, de manera que las responsabilidades de pago se transfieren a subsecuentes dueños de la propiedad si estas llegan a ser vendidas antes de que la valoración este completamente saldada.
- El financiamiento puede ser a 10 o 20 años y se paga a través de valoraciones en los impuestos anuales de la propiedad.
- Las mejoras deben estar permanentemente fijadas a la propiedad.

El financiamiento PACE fue diseñado originalmente debido a que las inversiones en el campo de la eficiencia energética y energías limpias tenían condiciones de pago a más largo plazo mientras que los costos de capital aparecían desde un comienzo. El financiamiento PACE fue creado en 2005 en Berkeley, California y rápidamente se propago por 23 estados en la nación⁸⁰.

El SCEIP fue creado con un fondo de 60 millones de dólares; 45 millones provenientes de su tesorería y 15 millones provenientes de su agencia hídrica. SCEIP ha financiado 58,5 millones de dólares a proyectos energéticos, 2,855 residenciales y 87 comerciales. La localidad estima que el 79% de los 682 trabajos generados por el SCEIP son locales.

Mi enfoque va hacia la energía solar, pero SCEIP ha financiado más de mil proyectos que no tienen relación con la energía solar, incluyendo más de 500 proyectos de instalación de puertas y ventanas, 200 relacionados con calefacción, ventilación y aire acondicionado y 200 proyectos de sellado y aislamiento.

Sonoma ha demostrado que el financiamiento PACE funciona. Funcionó incluso en medio de una crisis financiera nacional. El SCEIP no fue fundado con dinero del pago de impuestos sino con bonos proveniente del capital privado. SCEIP ha tenido una pequeña difusión del campo de la financiación de proyectos.

Otros estados se percataron del éxito que ha tenido el financiamiento PACE en Sonoma. PACE es un programa de financiamiento del gobierno municipal y como tal, necesita una legislación de estado para poder seguir existiendo. En algún momento este modelo de financiamiento estuvo activo en 23 estados y estaba siendo considerado en 20 más⁸¹.

¿Cómo sería un programa de financiamiento PACE con impacto nacional? Si todo Estados Unidos alcanzará el promedio de 500 vatios producidos a partir de energía solar por habitante y 4,5 instalaciones solares por cada 100 habitantes presentes en Sonoma, Estados Unidos tendría 159 GW de energía solar y 14 millones de instalaciones solares. Esta capacidad es equivalente al pico energético de 159 plantas nucleares; aproximadamente todas las plantas nucleares de Japón y Estados Unidos juntas.

Adicionalmente, Estado Unidos podría alcanzar esta capacidad en solo tres años tal como lo hizo Sonoma. Este es un escenario verdaderamente disruptivo. La energía nuclear sería redundante y prescindible en tan solo tres años. Las compañías de servicios no pueden competir con esto.

El gobierno federal quiere que Estados Unidos construya una economía con energía limpia. Un “disparo solar” que igualaría el “disparo lunar” de John F. Kennedy.

El programa de financiamiento PACE de Sonoma, silenciosamente mostró de lo que era capaz. Sonoma logro generar la receta. ¿Acaso el gobierno federal tomará las riendas en el asunto?

Por extraño que parezca, fue una agencia del gobierno federal la que condujo a la rápida aceptación del financiamiento PACE a lo largo de la nación a una abrupta parada. La Agencia de Financiamiento para Vivienda de Estado Unidos, supervisa las cuasi gubernamentales agencia de financiamiento, Fannie Mae, Freddie Mac y Federal Home Loan Bank, orientados a financiamiento PACE. Esta agencia argumenta que “los primeros gravámenes generados por el financiamiento PACE... plantean problemas difíciles e inusuales de gestión de riesgos para prestamistas, administradores e inversionistas hipotecarios⁸²”.

Personalmente pregunté a Diane Lesko, director del SCEIP acerca de la opinión de la mencionada agencia que catalogó las reformas energéticas hechas con fondos PACE como altamente riesgosas, a lo que me contestó que los programas de financiación PACE en Sonoma tienen tasas de interés del 1,1% mientras que la tasa habitual en las hipotecas es del 10%.

La energía solar está mejor parada ante los riesgos de inversión que las hipotecas. Aun así Fannie Mae y Freddie Mac (los servicios financieros respaldados por los contribuyentes que hicieron cientos de miles de millones de dólares en hipotecas posibles para Mickey Mouse y casi pusieron toda la economía de Estados Unidos de rodillas) inducen a la banca estadounidense a no financiar capitales con una tasa de interés de 1,1%.

PACE ha triunfado como una innovación financiera, pero se encontró a la política en el camino. El gobierno federal arrebató la derrota de las fauces de la victoria.

También le pregunté a Diane Lesko cuál es el más importante ingrediente para convertir un programa de independencia energética en un programa ganador; y la respuesta obtenida fue “voluntad política... se necesita un líder interesado en alcanzar estas mismas metas”.

A pesar de la oposición de la Agencia de Financiamiento para Vivienda de Estado Unidos, muchas municipalidades han adoptado el modelo PACE para financiar instalaciones de energía solar para uso comercial (no residencial). Por ejemplo, el condado de Miami-Dade en Florida, anunció un programa PACE con enfoque comercial de 550 millones de dólares que será liderado por Ygrene Energy; una compañía de servicios financieros radicada en Santa Rosa (en el condado de Sonoma)⁸³. Ygrene Energy también dirigió un fondo PACE de 100 millones de dólares en Sacramento, California.

Sonoma demostró que financiamiento accesible de bajos capitales pueden des-trabar y propulsar el mercado energético. Lo que la energía solar necesitaba era una innovación financiera disruptiva del mismo tipo de innovación que sacudió el mercado del transporte hace un siglo. Sonoma la proporcionó. Sonoma también demostró que la disrupción se puede dar muy rápido.

Finanzas Participativas: Crowdfunding para la Energía Solar

Las innovaciones financieras como PACE, los PPA y el arrendamiento solar mostraron como crear un rápido crecimiento en los mercados de la energía solar con fines residencial o comercial. Mientras tanto, la economía compartida viabilizada por la web creó otro instrumento que puede ser utilizado para la financiación de la energía solar.

El 10 de diciembre de 2012, una organización sin fines de lucro de San Francisco llamada Re-Volv lanzó una campaña de recaudación de fondos por medio del crowdfunding en una página llamada indiegogo.com (también radicada en San Francisco). Re-Volv quería recaudar \$10.000 en seis semanas para ayudar a financiar una instalación solar para una organización comunitaria. Re-Volv alcanzó los \$100.000 de parte de 100 donadores en solo tres semanas. Por si esto fuera poco, Re-Volv sobrepasó su objetivo, recaudando \$15.391, es decir un 50% más de lo esperado⁸⁴.

¿Qué recibían los donantes por su dinero aparte de la satisfacción de ayudar a la organización? Las dos personas que hicieron donaciones de \$1.000 recibieron la posibilidad de hacer un tour por las instalaciones de Re-Volv y conocieron a su personal. Las personas que contribuyeron con \$500, recibieron una llamada de parte del director ejecutivo de Re-Volv, Andreas Karelis. A los que contribuyeron con \$50 podían escoger entre una copia de mi libro *Solar Trillions* o el libro de Paul Wapner *Living Through the End of Nature*.

La mayoría de la gente que contribuyó en este crowdfunding solo lo hizo para contribuir al mundo a ser un lugar mejor. De hecho, 75 personas realizaron donaciones de \$50 y tenían la posibilidad de reclamar un libro, pero solo 24 lo hicieron.

Tres meses después de que la recaudación de fondos de Re-Volv terminara, recibí un email de parte de Andreas Karelas informándome que su compañía había accedido a financiar instalaciones solares con una capacidad de 10 kW en el Shawl-Anderson Dance Center de Berkeley. Estas instalaciones cubrirían el 100% de las necesidades eléctricas de este centro durante la duración del contrato. Además, Re-Volv estaría usando los beneficios de este contrato para financiar nuevas instalaciones solares (de allí el nombre de Re-Volv).

Un año después, Re-Volv lanzó su segunda campaña de financiamiento, esta vez con una meta de \$55.000. El resultado fue que 303 contribuyentes de veinte estados diferentes ayudaron a Re-Volv a superar su meta en más de \$1.000. El dinero fue usado para instalar estaciones de generación eléctrica con 22 kW de capacidad en la sinagoga de la comunidad Kehilla de Oakland que según comenta con alegría Andreas Karelas “Permitirá ahorrar más de \$130.000 en facturas por electricidad durante el ciclo de vida del proyecto”.

Re-Volv es una compañía sin fines de lucro orientada a la comunidad. La energía solar ofrece oportunidades de financiamiento de trillones de dólares. ¿Es el crowdfunding real? ¿Puede un movimiento participativo orientado a la comunidad cambiar disruptivamente la industria energética?

Finanzas Participativas: Energía Eólica en Dinamarca

La industria energética es un mundo jerárquico donde los gigantes tienen el control. Grandes bancos hacen grandes inversiones en grandes activos energéticos que las grandes compañías de servicios operan para vender energía a individuos, familias y negocios. El flujo de la energía va en un sentido (de los gigantes energéticos a los usuarios) mientras que el flujo de capital va en sentido contrario (de los usuarios a los gigantes energéticos). Todas las decisiones en el campo energético son hechas por un puñado de individuos o comités que en su mayoría no son responsables con los usuarios o con la sociedad en general.

La energía participativa se da cuando los individuos y las familias participan en la generación, transmisión y almacenaje de su propia energía y la de su comunidad.

Las finanzas participativas se dan cuando los individuos y las familias invierten directamente en activos energéticos que ellos o su comunidad utilizaran. Con las finanzas participativas los individuos invierten directamente en activos energéticos. Ellos mismos escogen en que proyectos energéticos (limpia, distribuida, a pequeña escala) desean invertir y se benefician del flujo de capital de esos proyectos.

La energía y las finanzas participativas pueden ir de la mano, tal y como lo mostró Dinamarca en los años 70. El mercado danés de energía eólica maneja la mayor cuota del mercado nacional en el mundo.

El 3 de noviembre de 2013, la energía eólica generó el 100% de la demanda energética danesa, rompiendo un record mundial⁸⁵. Pero se debe tener en cuenta que el mercado danés es muy diferente al mercado estadounidense. El país con mayor capacidad eólica del mundo, alcanzó esto prácticamente sin la participación de inversionistas o grandes compañías de servicios.

Dinamarca logró convertirse en el poseedor del más grande mercado de energía eólica del mundo porque sus comunidades invirtieron en sus propios activos energéticos.

Para impulsar a sus comunidades a la adopción de la energía eólica, el gobierno danés creó incentivos que motivaran a los individuos y las familias a invertir en sus propios activos energéticos. Dado que el mercado creció y las turbinas se hicieron más grandes, se requería más capital para invertir, de manera que los usuarios comenzaron a invertir en cuotas de "turbinas eólicas cooperativas". Estas cooperativas a su vez se traducían en desarrollo e inversión para turbinas familiares y para las granjas.

Para 2001, cerca de mil familias formaban parte de cooperativas de turbinas eólicas. Estas cooperativas habían instalado 86% de todas las turbinas eólicas de Dinamarca⁸⁶. Las cooperativas para la energía eólica en Dinamarca, son el primer ejemplo de finanzas participativas en el campo energético. Además también representa el primer ejemplo de energía participativa. En Dinamarca, cada individuo tiene la facultad de escoger que tipo de energía quieren utilizar (normalmente es eólica, sin embargo también está la opción de la geotérmica o solar) y compartir con la comunidad. Dinamarca también representa el primer gran ejemplo de cómo se puede hacer la transición desde grandes y centralizadas plantas energéticas al modelo distributivo de generación.

Las finanzas y la energía participativa estuvieron de la mano en Dinamarca. Para el 2005, más de 150.000 familias poseían turbinas o pertenecían a una cooperativa de turbinas eólicas, las cuales cubrían el 75% de la generación eólica

danesa. En ese momento el sector privado comenzó a entender la importancia de la energía eólica distribuida⁸⁷.

Para 2008, la capacidad eólica de Dinamarca había crecido tanto que cubría el 19,1% de la electricidad del país (véase Figura 2.2)⁸⁸.

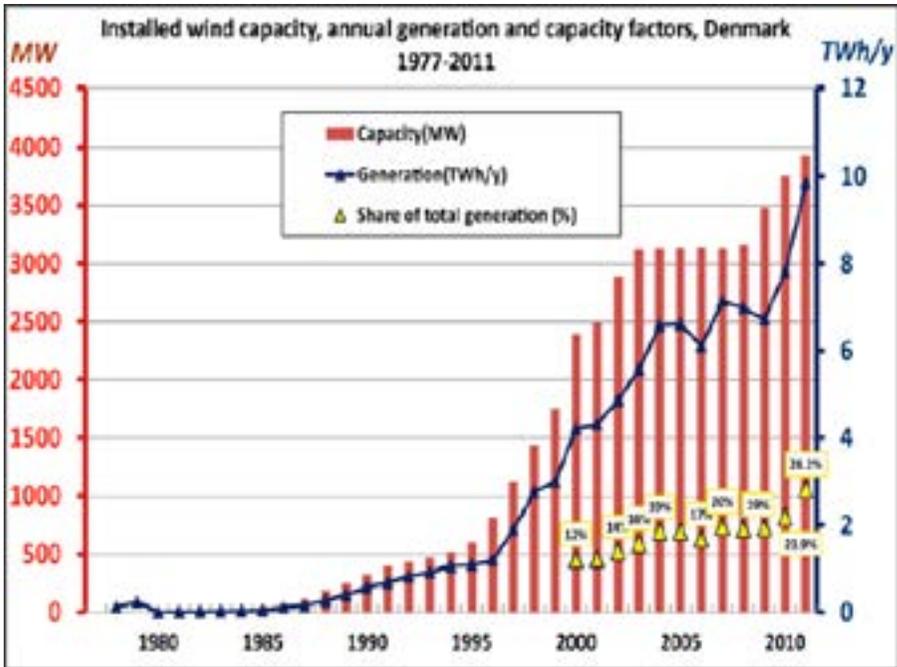


Figura 2.2: Capacidad eólica instalada en Dinamarca, generación eólica y factor de capacidad de 1977 a 2011 (Fuente: Wikipedia⁸⁹)

Con el 86% de los daneses apoyando la energía limpia y distribuida, el mercado eólico danés siguió creciendo. Para finales de 2012, el 30% de la electricidad era generada gracias al viento (véase Figura 2.2). El país planea generar el 50% de su demanda energética a partir del viento para el 2020.

El modelo danés se propagó por toda Europa. El impacto en Alemania fue bastante grande. Alemania tiene la mayor capacidad solar instalada del mundo y logró esto sin la participación de grandes empresas de servicios. El caso de la energía solar en Alemania es otro ejemplo de energía participativa, fueron principalmente individuos y pequeños negocios los que decidieron desarrollar e instalar plantas

de energía solar. Sin embargo, estas instalaciones fueron primordialmente financiadas por los bancos, de manera que Armenia no tuvo el añadido de las finanzas participativas que fue tan importante en Dinamarca.

Compañías de crowdfunding (finanzas participativas) más pequeñas han surgido en el Reino Unido y Holanda con el fin de acumular fondos para proyectos de energía solar.

En 24 de septiembre de 2013, WindCentrale anunció que había acumulado 1,3 millones de euros para construir y operar una planta de energía eólica; pero esta recaudación no fue una campaña típica⁹⁰. La compañía vendió a particulares 6.648 participaciones a 200 euros cada una, en 1700 hogares, quienes al comprar estas participaciones pasarían a ser dueños de 2 MW de la producción de la turbina eólica. De acuerdo a WindCentrale, estas participaciones crecerán un 8,5% anual, de acuerdo al supuesto de que los costos energéticos aumenten 3% anual⁹¹. La energía será vendida a través de una compañía llamada GreenChoice que ya vende energía limpia a más de 350.000 clientes en Holanda.

¿Puede Estados Unidos ponerse a la par de los europeos? ¿Quién financiará esta trillonaria empresa en Estados Unidos? ¿Serán los grandes bancos (como en Alemania) o particulares y familias (como en Dinamarca)?

El Puente Golden Gate como un Ejemplo de Finanzas Participativas

Las finanzas participativas y el crowdfunding pueden parecer un nuevo fenómeno, pero en San Francisco no es así. Allí se han aplicado durante años. El puente Golden Gate, es probablemente la construcción más representativa y amada de la costa oeste estadounidense y esta no hubiese sido posible sin la participación de los ciudadanos Californianos.

Cuando el Golden Gate fue proyectado en 1916, San Francisco era la ciudad estadounidense más grande que aún utilizaba barcos ferry. Joseph Strauss, un ambicioso emprendedor e ingeniero pasó la mayor parte de una década pidiendo el apoyo para el puente al norte de California. Para ese momento la Golden Gate Ferry Company era la mayor empresa del sector en el mundo. Además era subsidiaria de una de las más poderosas empresas (financieramente y políticamente) de aquel momento: Southern Pacific Railroad⁹².

La industria del ferry era una gallina de huevos de oro que sería sustituida si un puente se construía sobre el Golden Gate.

En 1928, California aprobó la ley distrital para el puente y la autopista Golden Gate. California creó un distrito especial de seis condados (San Francisco, Marin, Sonoma, Del Norte y unas porciones de Napa y Mendocino) con el objetivo de diseñar, construir y operar el puente ⁹³. Los costos proyectados fueron de 35 millones. Después de que el colapso de Wall Street en 1929 llevó a Estado Unidos a la Gran Recesión, la financiación pública para el puente se secó.

Strauss y sus allegados decidieron comenzar a recaudar fondos directamente de los habitantes de California. El 4 de noviembre de 1930, votantes de los seis condados miembros del distrito especial antes mencionado fueron a las urnas para decidir si colocar sus propiedades (hogares, granjas y negocios) como garantía para la emisión de bonos por 35 millones de dólares para la construcción del puente.

Southern Pacific, la compañía que manejaba el negocio del transporte en ferry, junto con sus colaboradores, iniciaron una fuerte campaña de desinformación. Una clásica campaña de miedo a la incertidumbre y la duda, similar a las campañas que las industrias petroleras y nucleares usarían años después para desprestigiar a la energía limpia. Los opositores al puente argumentaron:

*El puente claramente evitará que los más grandes barcos del mundo entren a la bahía. Una flota enemiga podría fácilmente demoler el puente y embotellar a los barcos de la marina estadounidense. El puente no puede ser construido, no podrá sostenerse. El suelo del estrecho de San Francisco no podrá soportar el peso del muelle y la torre. El proyecto entero es una farsa y un engaño. Solo un tonto compraría un bono para un puente que sin duda se caerá. Los contribuyentes estadounidenses van a tener que sufrir para el financiamiento de un fiasco.*⁹⁴

Luego del conteo de los votos, quedó claro que la gente confió en la visión del jefe de ingeniería Joseph Strauss. Los resultados fueron 145.057 a favor y 46.954 en contra de la construcción del puente Golden Gate.

Estos no fueron votos corrientes. Las personas al norte de California votaron (con un margen de 3 a 1) para colocar sus propiedades como garantía en aras de la construcción del puente. Con lo cual Bank of America se comprometió a comprar el primer bloque de 3 millones en bonos para iniciar la construcción del puente en 1932.

Fue la participación financiera y política de las personas de la Bahía de San Francisco la que hizo posible el puente Golden Gate. El puente inició operaciones en mayo de 1937. Durante su primer año de servicio, 3,3 millones de vehículos

circularon a través de él. Para 1967, el número de vehículos que cruzaron el puente ascendió a 28,3 millones⁹⁵.

El servicio de ferry que operaba entre los condados de Marin y de San Francisco fue diluyéndose hasta desaparecer por completo en 1941. La industria del ferry fue oficialmente sustituida.

Mosaic: Una Compañía Devota de las Finanzas Participativas

Estuve pensando en la historia del Golden Gate mientras me paraba sobre la cubierta del ferry que me llevaba de San Francisco a Jack London Square en Oakland. Después de vivir en San Francisco por veinte años aún amo la experiencia de disfrutar la Bahía de San Francisca desde la cubierta del ferry. La industria del ferry tuvo su regreso en los años 70 y ahora ocupa un pequeño nicho del mercado que complementa el sistema de tránsito en el área de la bahía.

Yo soy consultor para el centro de emprendimiento SfunCube o Powerhouse, ubicado cerca de Jack London Square en Oakland. Una zona que me recuerda a Kendall Square en Cambridge, Massachusetts, cerca de mi alma mater; el MIT, antes de que se convirtiera en el centro global para emprendimientos tecnológicos. El punto de desembarque de los ferris en Oakland está cerca de un bello puerto, de tiendas y restaurantes, pero caminando unas pocas cuadras se encuentran una gran cantidad de bodegas cerradas que muestran las cicatrices de las últimas olas de industrialización.

Como consultor de Powerhouse, revisé conjuntamente con sus cofundadores Emily Kirsch y Danny Kennedy, los planes de negocio presentados por solicitantes de todo el mundo. Powerhouse está convencido de que las innovaciones de software y financieras son claves para la próxima ola de emprendedores en el campo de la energía solar. Pocas compañías tienen estas dos claves simultáneamente. Mosaic es una compañía de energía solar basada en el crowdfunding radicada en las instalaciones de Powerhouse.

Dan Rosen, presidente y cofundador de Mosaic me comentó que la energía solar ofrece una oportunidad trillonaria y que será mejor servida en un mercado de igual a igual. Cuando las personas invierten directamente en proyectos de energía solar, se benefician directamente de las tasas de interés que ganan y los usuarios de las plantas solares, se benefician a su vez, de menores costos en las facturas de electricidad.

Mosaic fue presentada en enero de 2013. Para el momento que conversé con Dan Rosen ese año, tres mil personas habían invertido más de 6 millones de dólares en proyectos de energía solar, los proyectos varían desde una instalación solar de 55 kW en una zona residencial de bajos ingresos en Corte Madeira, California, hasta instalaciones de 1,6 MW en Prairie View Solar Park en Gainesville, Florida⁹⁶.

Mosaic se planteó la misión de democratizar el acceso a la trillonaria oportunidad de la inversión en energía solar. Menos de veinte bancos han participado consistentemente en proyectos de energía solar en Estados Unidos, esta concentración de capital indica tres cosas:

1. El capital para proyectos de energía solar es limitado. Incluso si los veinte bancos tienen un saludable apetito de energía solar, la teoría de la cartera indica que limitan su exposición a cualquier activo sencillo.
2. La demanda de rendimiento de los bancos es alta y no conmensurada con la relación riesgo-recompensa de la energía solar. La Federal Deposit Insurance Corporation (FDIC) asegura depósitos en cerca de 6.800 instituciones⁹⁷. Menos de veinte de ellas invierten en energía solar. A pesar de la alta liquidez y las bajas tasas de interés de los mercados financieros, el hecho de que solo unos pocos bancos inviertan en energía solar indica que no hay una competencia entre los bancos. Esto catapulta los costos de los proveedores y con esto el costo capital de la energía solar.
3. Los costos de las transacciones son elevados. No existen estándares para la inversión en proyectos de industrias. Cada proyecto pareciera utilizar diferentes acuerdos de compra de energía y otros documentos. Esto catapulta los honorarios cobrados por los abogados y aumenta el tiempo que lleva procesar y cerrar las inversiones. Dan Rosen se pregunta “realmente tenemos que pagar \$70.000 a los abogados por cada proyecto en energía solar”.

La mayoría de los proyectos que figuran en la página de Mosaic ofrecen rendimientos en el rango de 4,5 a 5,75% y dos con valores extremos de 7%. Para inversionistas particulares que están percibiendo menos del 1% en cuentas bancarias o certificados de depósito, un rendimiento del 4% es bastante considerable. Hasta ahora, los proyectos de Mosaic tienen un 100% de puntualidad en sus pagos. No hay justificativo para los rendimientos del tipo de tarjeta de crédito que los bancos han solicitado hasta ahora para los proyectos en energía solar.

Las compañías de servicios financieros y las compañías energéticas tienen un apetito voraz para rendimientos atípicos de capital. Una plataforma tecnológica de igual a igual como Mosaic sacan del juego a las compañías de servicios y energéticas. Cuando pequeñas inversiones particulares entran en juego en plataformas de igual a igual como Mosaic, ambos bandos ganan, los inversionistas

particulares se benefician de un flujo de capital estable y a largo plazo, con rendimientos que antes solo eran posibles para los gigantes energéticos, mientras tanto los usuarios de la energía solar se benefician de un servicio energético con menores y más estables costos. Dan Rosen explica “por cada 100 puntos base (1%) se reduce en el costo capital total, los costos de la energía solar descienden hasta un rango de 1 ¢/kW a 2 ¢/kWh”.

Dan Rosen precibe a Mosaic como un medio de oportunidades en expansión. Mosaic ofrece a los usuarios de la energía solar y a pequeños inversionistas, oportunidades que no tendrían en paradigma financiero actual del mercado energético.

Dan Rosen expresa que “es asombroso lo ineficiente que es el proceso de financiamiento y desarrollo de proyectos en ingeniería solar” y añade “Estamos tratando de alcanzar la estandarización del financiamiento relacionado con la energía solar. Nuestra meta es hacer que los préstamos en energía solar se conviertan en préstamos automáticos; es decir, que se pueda aplicar de forma online para recibir inmediato financiamiento para un proyecto en energía solar”.

Mosaic quiere construir una plataforma en internet basada en la nube donde los desarrolladores de proyectos en energía solar de cualquier escala puedan publicar sus proyectos para que los inversionistas de cualquier nivel puedan participar. Los proyectos y los inversionistas pueden estar en cualquier lugar del mundo. Rosen explica “El pequeño inversor puede aportar unos cientos de dólares y el fondo de pensiones puede aportar unos cuantos millones de inversionistas orientados a la comunidad pueden encontrar e invertir en proyectos enfocados a su propio vecindario mientras que los grandes inversionistas pueden crear grandes portafolios de proyectos en diferentes mercados”.

Hace aproximadamente 100 años, GMAC creó los préstamos automáticos, han generado cientos de billones de dólares desde entonces. A lo largo del camino GMAC ayudó a la joven industria automotriz a convertirse en la multitrillonaria industria que existe hoy en día. La meta de Mosaic es lograr esto con la energía solar haciendo uso de las finanzas participativas.

“Los estadounidenses tienen cinco trillones de dólares en sus cuentas de retiro” Comenta Rosen; “lo que perseguimos es darle a todos los estadounidenses la oportunidad de decir, tengo una granja solar en mi cuenta de retiro”.

Wall Street eventualmente se puso a la par de GMAC. Sin embargo, las plataformas tecnológicas tienen efectos de red, lo que hace que un ganador sea difícil de alcanzar. Probablemente Mosaic es la primera oportunidad de financiamiento trillonaria habilitada principalmente por una plataforma de igual a igual. ¿Acaso Wall Street se perderá esta oportunidad trillonaria para el financiamiento energético?

Por Qué la Energía Solar Atrae a Warren Buffett y a Wall Street

En febrero de 2012, dos meses después de que MidAmerican Energy; de Warren Buffett, adquiriese la más grande planta solar en el mundo por 2,4 billones de dólares, esta acudió a Wall Street para refinanciar el proyecto. MidAmerican Energy necesitó de Wall Street para superar el primer tramo de 850 millones de dólares. A pesar del respaldo de Warren Buffett los agentes de calificación crediticia no apoyaron desmesuradamente a la energía solar. Fits Ratings dio el vínculo ofreciendo una tasa BBB-, su tasa de inversión más baja. Moody's lo catalogó como Baa3, Standard & Poor's ofreció una tasa BBB-, su menor tasa de inversión de acuerdo con Bloomberg⁹⁸.

Topaz Solar Farms LLC ofreció los 850 millones de dólares como una deuda no asegurada con una fecha de maduración para septiembre de 2039 y un rendimiento del 5,75% anual. Tesorerías estadounidenses equivalente tuvieron rendimientos de solo 1,95% de acuerdo a Bloomberg. El acuerdo solar de Buffett ofrecía casi tres veces el rendimiento que las tesorerías estadounidenses. Los inversionistas le sacaron provecho a esto. La oferta de Topaz Solar tuvo un exceso de solicitudes por cerca de 400 millones de dólares.

Los inversionistas que buscaban un rendimiento estable, sensato y a largo plazo, no tenían donde más buscar durante esos días. En agosto, el bono a 1 año de la tesorería estadounidense solo tuvo un rendimiento de 0,13% y el de 5 años solo tuvo un rendimiento de 1,47%⁹⁹. Las acciones usualmente tienen un mejor rendimiento pero son extremadamente volátiles. Estados Unidos ha pasado por dos colapsos traumáticos en el mercado accionario desde el 2000. Por ejemplo, el índice Nasdaq Composite pasó de una valoración alta de 4.571 en enero de 2000 a 1.172 en julio de 2002, luego subió a 2.700 en julio de 2007 solo para colapsar nuevamente a 1.528 en enero de 2009. Para finales de 2013, el índice se había elevado nuevamente, esta vez hasta los 4.177 (véase Figura 23).

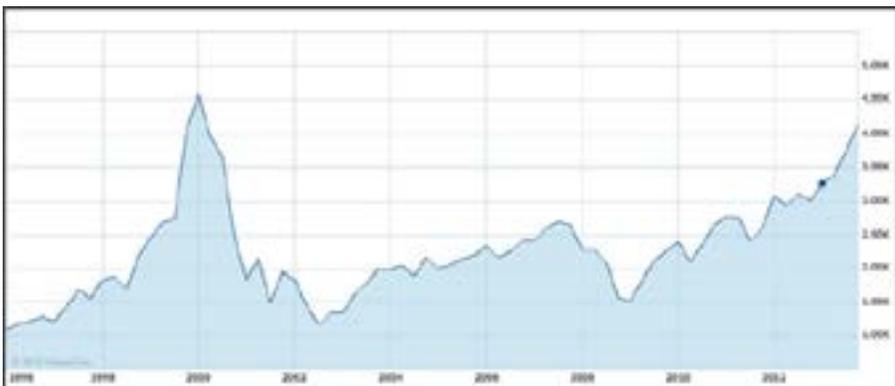


Figura 2.3: Comportamiento de Nasdaq Composite (Fuente Yahoo! Finance, © Yahoo! Inc.)¹⁰⁰¹⁰⁰

¿Títulos hipotecarios? Muchos pueden recordar la deuda con colateral de hipotecas que ayudó a catapultar la crisis financiera (una crisis de la cual Estados Unidos aún está recuperándose).

El verano de 2013 será recordado como el año en que el mercado público conoció la energía solar y eólica.

Recordando que MidAmerican Energy; de Warren Buffet, invirtió 2,4 billones de dólares para la adquisición del proyecto energético Topaz. Muchos libros se han escrito acerca de la sabiduría inversionista de Buffett. ¿Por qué invirtió en Topaz? Para entenderlo se deben considerar algunas de las reglas fundamentales de Buffett para las inversiones de valor. De acuerdo a la “sabiduría de mercado” de Warren Buffet:

- “Me gustan los negocios que puedo entender”.
- “Quiero saber cómo será un negocio en diez años. Si no puedo saber dónde estará en diez años, entonces no invertiré en él”.
- “Nosotros no tenemos rendimientos gigantes, pero no perdemos dinero tampoco”¹⁰¹

MidAmerican Energy compró una planta solar, no un proveedor de tecnología para paneles fotovoltaicos. Existe una gran diferencia entre estos dos negocios y los medios usualmente no los distinguen.

Los fundamentos económicos de las plantas de energía solar son aburridos. Como en cualquier negocio, el ingreso neto de una planta de energía solar es igual a ingresos menos costos. Asumiendo que se tiene un acuerdo para la adquisición de energía solar (PPA), los costos y los ingresos serían:

- Ingresos: demanda energética + precios energéticos.

- Precios Energéticos: estables durante el PPA (aproximadamente 20 años).
- Demanda Energética: estable durante la duración del PPA.
- Costos: combustible + costos de operación y mantenimiento + seguros + costos de capital.
 - Combustible: Cero. Los rayos solares son gratis y se espera que el sol brille por un billón de años más aproximadamente.
 - Operación y Mantenimiento: estables y extremadamente bajos (menos de 1 ¢/kWh).
 - Seguros: normalmente un porcentaje bajo (0,3%) del valor del bien, el cual decrece a lo largo de la vida de la planta solar.
 - Costo de Capital: básicamente el costo de los intereses, el cual depende de la tasa de los mismos.

Como una hipoteca para una casa, el costo de capital se transforma en el más elevado en la construcción de una planta solar. Mientras más se pueda disminuir la tasa de interés, menor será el costo de la energía solar.

Como el costo de instalación de energía solar continua decreciendo, el costo de capital de la energía solar se aproximará al costo de capital. Estas son buenas noticias, ya que las tasas del gobierno estadounidense son menores al 1%. El costo de capital en Japón ha sido prácticamente cero por más de una década.

Ha sido un período largo de espera, pero Wall Street está comenzando a entender el valor de la energía solar y el matrimonio llegará próximamente. Grandes plantas de energía solar se están beneficiando de los costos de capital más bajos. Esto les permitirá reducir el costo de la energía que producen.

El virtuoso ciclo de la energía solar está en movimiento. Lo menores costos de la energía conduce a una mayor aceptación de mercado y esto a su vez, disminuye la percepción de riesgos y atrae más capital con menores costos de capital, lo cual a su vez, disminuye los costos de la energía solar, lo que trae mayor aceptación de mercado, sin mencionar mayor inversión, mayor innovación e incluso menores costos de capital. Una vez que este virtuoso ciclo alcanza el punto de no retorno, se acelera el crecimiento del mercado. La energía solar va a ser indetenible y la industria tradicional será sustituida.

Pero ¿Qué pasa con el financiamiento de instalaciones solares distribuidas más pequeñas para uso residencial y comercial? Wall Street se toma su tiempo y los

costos de las transacciones son altos. Los inversionistas de Wall Street prefieren grandes contratos que un montón de pequeños contratos residenciales. ¿Cómo podrá la energía solar alcanzar los trillones que necesita de Wall Street?

La Titularización Llega a la Energía Solar

El 13 de noviembre de 2013, SolarCity anunció el ofrecimiento de 54,4 millones de dólares en notas respaldadas por activos basados en energía solar¹⁰². Las notas tendrían una tasa de interés del 4,8% y fecha de madurez para el 21 de diciembre de 2026. Standard and Poor's le dio a esta oferta (llamada SolarCity Serie I LLC Serie 2013-1) la valoración BBB+¹⁰³. Como muestra el cuadro de oferta de bonos corporativos (véase Figura 2.4), S&P colocó el bono 2013-1 de SolarCity con una calificación crediticia un poco mayor que el bono F.GY de Ford Motor (valorado con BBB-) y por debajo del bono T4013485 de AT&T (valorado con A-).

Datos de la Corporación Bond FINRA TRACE

INVERSIÓN	ALTO RENDIMIENTO	CONVERTIBLES	Valoración de crédito			Precio			
			Cupón %	Madurez	Moody's	S&P	Fitch	Último Cambio	Rendimiento %
General Elec Cap Corp Medium Term Nts Bo GEATZ			2.15%	Jan '12015 A1	AA+	n.a.	101.271	-0.61	0.90%
Continental Res Inc CLR3875305			5.00%	Sep '12022 Baa3	BBB-	n.a.	103.5	-0.125	4.35%
Ford Mtr Co Dal F DY			7.45%	Jul '12031 Baa3	BBB-	BBB-	121.75	-1.23	n.a.
Procter & Gamble Co PGHT			1.80%	Nov '12015 Aa3	AA-	n.a.	102.551	+0.183	0.43%
Devon Energy Corp New DYN3852854			3.25%	May '12022 Baa1	BBB+	BBB	95.711	-0.255	3.85%
Anheuser Busch Inbev Worldwide Inc BIUD JZ			7.75%	Jan '12019 A3	A	A	125.518	+0.424	2.35%
General Elec Cap Corp Medium Term Nts Bo GE3872800			1.83%	Jul '12015 A1	AA+	n.a.	101.611	+0.109	0.55%
AT&T Inc T4013485			4.30%	Dec '12042 A3	A-	A	85.606	-2.96	5.28%
Apple Inc AAPL4001809			2.40%	May '12023 Aa1	AA+	n.a.	91.607	-0.06	3.49%
Commonwealth Bk Australia Medium Term Nt CBAU3828662			2.25%	Mar '12017 Aaa	n.a.	AAA	102.934	-0.225	1.31%

Figura 2.4: Datos de Bonos de Corporativos de FINRA TRACE. 27 de diciembre de 2013, New York Times (Fuente: NYTimes.com)

La oferta de bonos, pequeña como fue, representó una ruptura para la industria de la energía solar estadounidense. La titularización es un gran paso hacia adelante en el incremento del flujo de capital para cualquier industria. La titularización también disminuye los costos de capital para la industria.

La oferta de titularización de SolarCity agrupó 5.033 contratos de sistemas de paneles solares fotovoltaicos bajo un solo título. Cuando 5.033 clientes residenciales pagan su electricidad mensual o tasas de arrendamiento, sus pagos se convierten en pagos para los inversionistas del título. ¿Quién invierte en titulaciones para la energía solar? Los fondos de pensiones, fondos de dotación universitaria y otros inversionistas que se benefician de flujos de capital predecibles a largo plazo. SolarCity se beneficia redesplegando 53 millones de dólares para la construcción de miles de nuevas instalaciones solares.

El negocio de SolarCity es un pequeño primer paso en la apertura de la industria de 1,8 trillones de dólares de titulaciones respaldadas con activos al mercado de la energía solar¹⁰⁴. Los fondos de pensión y los bancos inversionistas eventualmente se sentirán cómodos con títulos respaldados con energía solar. Estos pedirán a las principales empresas de instalaciones solares, tales como SolarCity, SunRun y Sungevity que les vendan más titulaciones respaldadas con activos basados en la energía solar. Dado que más compradores (fondos de pensión, fondos de dotación universitaria, bancos inversionistas) y más vendedores (terceros de las empresas de instalaciones solares) participan en este proceso, el mercado se volverá más líquido; más dinero entrará en el flujo de capital del mercado. Consecuentemente, el costo de capital para titulaciones respaldadas con energía solar de alta calidad descenderá.

La disponibilidad de nuevo capital le permite al mercado de energía solar avanzar más rápidamente. Mientras tanto, los menores costos de capital implican menores costos para la electricidad generada a partir de energía solar. Más clientes pueden comprar energía solar debido a que se hace más barato; las compañías pueden construir sistemas solares a un ritmo más rápido. Los instaladores pueden entonces titularizar miles de arrendamientos solares residenciales y conseguir dinero con menor costo de capital.

Hace un siglo, créditos ampliamente disponibles y el menor costo de capital crearon un virtuoso ciclo dentro de la industria automotriz. Mientras más clientes nuevos tenían acceso a créditos, más vehículos eran vendidos y mientras más carros eran vendidos, la industria automotriz experimentaba más inversión, innovación y avance económico. Esto a su vez, disminuyó el costo de los vehículos, lo que trajo más consumidores al mercado y esto trajo nuevos bancos al mercado crediticio, lo que una vez más, disminuyó los costos de capital. Esto se tradujo nuevamente en la incursión de más clientes al mercado y así sucesivamente. El resultado fue un virtuoso ciclo en la industria automotriz.

De la misma forma que las titulaciones ayudaron a democratizar el mercado automotriz, residencial y de estudios universitarios. La titularización tiene el potencial para democratizar la industria de la energía solar. El virtuoso ciclo de la

energía solar se verá acelerado con la creación de títulos respaldados con activos relacionados con la energía solar.

Financiación de la Energía Solar con Fondos de Inversión Inmobiliaria

En abril de 2013, Hannon Armstrong Sustainable Infrastructure Capital, Inc. Entró a la bolsa de Nueva York (NYSE: HASI). Esta vendió 13,33 millones de participaciones y acumuló 155,4 millones de dólares¹⁰⁵. La oferta pública inicial no tuvo nada de especial a excepción de un hecho muy importante: HASI era un fondo de inversión inmobiliaria (REIT, por sus siglas en inglés) enfocado a las energías limpias.

Un REIT es una estructura legal por medio de la cual puede invertir, poseer y operar bienes raíces generadores de renta¹⁰⁶. Los REIT fueron creados por el congreso de Estado Unidos en 1960 para dar a los inversionistas la oportunidad de invertir en el mercado inmobiliario de la misma forma que lo hacían en el mercado líquido de las titulaciones de acciones o bonos¹⁰⁷. Desde 1960 los REIT han crecido enormemente en alcance y magnitud. Ser un REIT le dio enormes ventajas a Hannon Armstrong Sustainable Infrastructure Capital para la financiación de proyectos de energía limpia. De acuerdo con Dan Reicher, un profesor de la Universidad de Stanford y director ejecutivo del Steyer-Taylor Center for Energy Policy and Finance “REIT tiene una valoración de mercado de 630 billones de dólares y brinda rendimientos promedio del 5%”; además argumenta “los REIT de energía limpia tendrán acceso a cientos de billones de dólares de parte de inversionistas privados con costos capitales mucho más bajos que los que ahora están obteniendo”.

¿Quién decide si un activo del tipo solar o eólico califica para la inversión de los REIT? El servicio de impuestos internos lo hace. Mediante algunas regulaciones fiscales este servicio puede decidir en qué tipo de activos puede invertir un REIT. Actualmente estos pueden invertir en edificios de oficinas, edificios residenciales, bodegas de almacenamiento, centros comerciales y hospitales.

Anteriormente en este capítulo se explicó que uno de los requerimientos del financiamiento PACE es que el activo debe estar anclado a la propiedad. Los paneles solares fotovoltaicos están anclados a la propiedad. La energía solar califica para el financiamiento PACE pero el servicio de impuestos internos no lo ha calificado como disponible para los para la inversión de los REIT.

¿Podrían los inversionistas convencer al servicio de impuestos internos de que la energía solar; al estar anclada a la propiedad, califica para la inversión de los

REIT? Una compañía puede solicitarlo, y este servicio puede emitir una carta explicando el tipo de infraestructura que califica para la inversión de los REIT. Hannon Armstrong recibió una de estas cartas.

En su declaración ante el congreso en octubre de 2013, el Dr. Reicher de Stanford mencionó la forma en que una compañía como FirstWind le dijo que pagaba hasta el 14% de los costos de capital para elevar la equidad tributaria¹⁰⁸. Para poner esto en contexto, la rentabilidad por dividendo de Hannon Armstrong era de 3,19% de acuerdo a MorningStar¹⁰⁹. Dado que Hannon Armstrong distribuye el 100% de sus ganancias, su rentabilidad por dividendo es efectivamente su costo de capital.

Con la posibilidad de conseguir dinero directamente de sus inversionistas con el uso de un instrumento como REIT se pueden reducir los costos de la energía limpia sustancialmente. Solo imagine la diferencia de pagar una hipoteca con una tasa de interés del 14% a otra con una tasa del 3,19%. Esa es la diferencia entre usar REIT y financiamiento convencional.

El 23 de diciembre de 2013, Hannon Armstrong anunció que había vendido 100 millones de dólares bonos de rendimiento sostenible respaldados por activos con un rendimiento aún más bajo: del 2,79%.

De acuerdo con el presidente de Hannon Armstrong, Jeff Eckel, esta transacción de 100 millones de dólares “titulariza el flujo de capital generado por 100 instalaciones de eficiencia energética solar y eólica”¹¹⁰.

Hacer que los activos basados en energía limpia califiquen para la inversión de los REIT cortaría los costos de la energía solar en un tercio de acuerdo a una carta que 35 miembros de congreso estadounidense enviaron al presidente Obama en diciembre de 2012. Una parte de la carta expresaba:

“Pequeños retoques en el código tributario podrían atraer miles de millones de dólares en la inversión del sector privado al despliegue de las energías renovables, reducir el costo de la energía renovable a un tercio del actual, y ampliar considerablemente la base de inversionistas elegibles.”¹¹¹

Realmente no se requiere la acción de congreso para que la energía solar y eólica pueda convertirse en calificable para la inversión de los REIT de acuerdo con el Dr. Reicher de Stanford. Solo se necesita un proceso administrativo de parte de servicio de impuestos internos Hannon Armstrong puede haber abierto esta puerta.

La carta que los congresistas hicieron llegar al presidente Obama también lo presionaba para que habilite otro tipo de estructura legal para la energía limpia: las sociedades limitadas.

Llevando las Sociedades Limitadas a la Energía Limpia

Kinder Morgan fue fundada en Houston en 1997, cuando Richard Kinder, William V. Morgan y un grupo de inversionistas adquirieron Enron Liquids Pipeline, LP, una pequeña compañía de tuberías comerciada públicamente¹¹². Kinder Morgan ahora posee u opera 82.000 millas de tuberías para petróleo y gas y 180 terminales donde se almacenan productos como petróleo, gas o coque de petróleo¹¹³. Esto usando una estructura de negocios conocidas como las sociedades limitadas. Kinder Morgan se ha convertido en un gigante valorado en 102 billones de dólares. Esta es la cuarta empresa energética más grande que es públicamente comerciada en Norteamérica basado en el valor de la empresa¹¹⁴.

Kinder Morgan no es la única compañía que usa este modelo de negocios. Apache Petroleum también la usó para entrar a la bolsa en 1981. Desde entonces, este modelo de negocios ha generado en la industria energética más de 400 billones de dólares mediante la construcción de tuberías, el taladrado, la minería, el transporte de energía y el procesamiento de petróleo, gas y carbón.

Como una estructura de negocios, las sociedades limitadas tienen ventajas tributarias, pero sus acciones pueden ser manejadas como las de cualquier corporación. A diferencia de otro tipo de corporaciones, las sociedades limitadas no pagan impuestos corporativos. Esto les da una gran ventaja. Los ingresos netos pasan hacia los accionistas como dividendos (véase Figura 2.5).

Kinder Morgan y el reciente boom del esquisto de petróleo y gas en los Estados Unidos no habrían sido posibles sin las sociedades limitadas. Estas permitieron que la industria petrolera y del gas obtuviera dinero de inversionistas públicos a pesar de la crisis financiera del final de la década del 2000.

Las sociedades limitadas no pueden ser usadas para proyectos de desarrollo de energías limpias. El congreso no les permite ser usadas para el uso recursos inagotables como el sol y el viento. Esta es solo otra forma en la que el gobierno de Estados Unidos le da ventajas a la industria de combustibles fósiles sobre las energías limpias.



Figura 2.5: Cómo trabajan las sociedades limitadas (Fuente: Senador Chris Coons)¹¹⁵

Dan Riecher, profesor de Stanford y antiguo consultor del Departamento de Energía, ha propuesto el uso de sociedades limitadas para proyectos de energía limpia. Él está convencido de que estos atraerá muchos más inversionistas al campo y reduciría considerablemente los costos de capital.¹¹⁶

De acuerdo con Riecher, las sociedades limitadas tienen una capitalización de mercado de 440 billones de dólares y pagan en promedio un dividendo del 6%. Esto se compara con el 10 a 20% costo capital; similar al de las tarjetas de crédito que las compañías de energía limpia tienen que pagar para alcanzar la equidad tributaria.

Para entender la diferencia que puede significar el uso de las sociedades limitadas se debe considerar lo difícil que es conseguir capital social. El principal programa incentivo para la energía solar en Estados Unidos es el crédito fiscal para la inversión (ITC, por sus siglas en inglés).

El crédito fiscal a la inversión es un crédito al 30% para sistemas solares residenciales o comerciales¹¹⁷.

Las industrias petrolera y del gas también reciben crédito fiscal para la inversión. Por ejemplo, reciben la deducción del crédito fiscal extranjero y la deducción por los costos intangibles de perforación. Respectivamente, estas dos deducciones tributarias le ahorrarán a las cinco más grandes compañías del sector 2 y 7,5 billones de dólares en la próxima década de acuerdo al Congressional Joint Committee on Taxation¹¹⁸.

Los proyectos particulares no pueden acceder directamente a crédito fiscal para la inversión hasta que comiencen a generar dividendos, lo cual puede llevar varios años. En contraste, las gigantes compañías petroleras ya tienen ingresos millonarios y los pueden compensar rápidamente haciendo uso de esta herramienta.

Las compañías de energía solar en los Estados Unidos recaudan capital social atrayendo inversionistas que puedan acceder a créditos fiscales para la inversión. Esto es llamado "equidad tributaria". Hay varios problemas con el uso de la equidad tributaria para recaudar capital para un proyecto. El primer problema es que este es un mercado altamente líquido. En un año dado solo diez o veinte inversionistas de alcance nacional tienen el apetito de los billones de dólares en equidad tributaria requeridos para los desarrolladores de la energía solar. El segundo problema es que la falta de competencia les permite a estos inversionistas utilizar tasas de interés similares a las de las tarjetas de crédito.

Si las industrias del petróleo y el gas solo hubieran tenido acceso al número de inversionistas que el gobierno ha permitido a la energía solar y eólica, estas no habrían podido desarrollar los millones de pozos y las miles de millas de tuberías de la última década.

Las sociedades limitadas darían a las compañías de energía solar y eólica la oportunidad de acceder directamente a los mercados de inversionistas de dinero público. Esto reduciría drásticamente los costos de capital para proyectos de energía limpia.

La Ley de Paridad para Sociedades Limitadas, un proyecto de ley presentado al congreso estadounidense en 2012, extendería el uso de las sociedades limitadas en la energía limpia. Esto equilibraría el campo de juego. Esto permitiría a otras formas de generación de energía y a proyectos de eficiencia energética aprovechar las sociedades limitadas. Energía eólica, solar, proyectos de gasificación y desperdicio energético, captura de carbono, así como de edificios energéticamente eficientes tendrían la posibilidad de aprovechar las sociedades limitadas.

La Ley de Paridad para Sociedades Limitadas fue llevada al congreso por los senadores Chris Coons (Demócrata de Maryland) y Jerry Moran (Republicano de Kansas). En 2013 se modificó para ampliar el alcance de los proyectos energéticos que cubre. El proyecto de ley fue referido al comité de finanzas y aún espera por ser oído en el congreso¹¹⁹.

Por su parte el Joint Committee on Taxation estudió el impacto financiero de extender las sociedades limitadas a la energía limpia y concluyó “La Ley de Paridad para Sociedades Limitadas es una ganga”. El comité dijo que esta ley podría traducirse en 10 billones de dólares en inversión para la energía limpia casi “de inmediato”¹²⁰. Por otra parte, la Ley les costaría a los contribuyentes 307 millones de dólares en cinco años y 1,3 billones de dólares en diez años por las sociedades limitadas de combustibles fósiles existentes.

La Ley de Paridad para Sociedades Limitadas es “menos relleno y más sabor” para parafrasear el viejo comercial de cervezas. Esta rebajaría los costos de energía para los consumidores, crearía nuevos trabajos y rebajaría los impuestos, ¿Tiene algo que no sea bueno?

En Conclusión: La Oportunidad Trillonaria del Financiamiento de Energía Solar

El financiamiento de energía solar ha recorrido un largo camino desde 2008 cuando el modelo de negocios de contratos de energía solar sin cuotas iniciales fue presentado. Debido a la experimentación de nuevas formas de financiación y las innovaciones en titulaciones existentes, la inversión en la equidad tributaria ha incrementado rápidamente su base de capital y la disminución de sus costos de capital (véase Figura 2.6).

Americorp Energy Holdings, de Warren Buffett es ahora el más grande desarrollador de proyectos de energía solar en América. Esta compañía ha adquirido dos de los más grandes proyectos de energía solar en el mundo. El ofrecimiento de Topaz Solar Farms LLC de los 850 millones de dólares como una deuda no asegurada con un rendimiento del 5,75% se cerró exitosamente. De hecho, tuvo un exceso de solicitudes de 400 millones de dólares

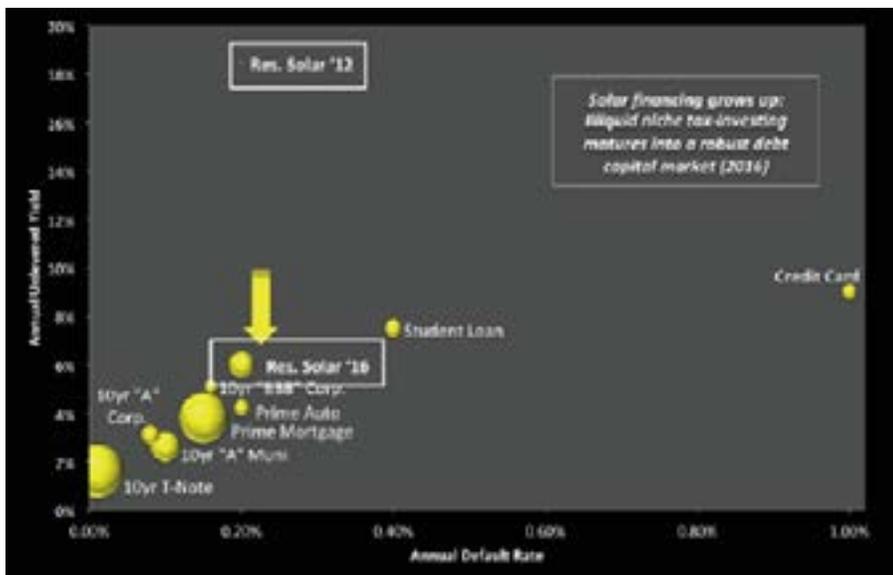


Figura 2.6: Evolución de los costos de capital para el financiamiento de energía solar desde 2012 a 2016 (Fuente: Clean Power Finance)

Mosaic, radicada en Oakland, California, una plataforma de crowdfunding, se convirtió en la primera compañía de financiamiento para la energía solar en Estados Unidos que exitosamente instauró las finanzas participativas con fines de lucro en la energía solar. Estos proyectos están siendo financiados con costos capitales promedio de 5%. Mosaic también está construyendo una plataforma digital que espera que democratice las finanzas en el campo energético. Los particulares tendrán la posibilidad de invertir directamente y beneficiarse de la trillonaria infraestructura de la industria de la energía solar.

En noviembre de 2013, SolarCity ofreció el primer negocio de titularización para la energía solar de la historia. Esto abrió la puerta a un mercado más líquido para financiación de energía solar de uso residencial. La propuesta de SolarCity fue por 54,4 millones de dólares en notas respaldadas por activos basados en energía solar con tasas de interés del 4,8%¹²¹.

Al mes siguiente, Hannon Armstrong, el primer fondo de inversión en energía limpia en salir exitosamente a la bolsa anunció que vendió 100 millones de dólares en bonos de rendimiento sostenible respaldados por activos con un rendimiento aún más bajo: 2,79%.

Kristian Hanelt de Clean Power Finance espera que el mercado del financiamiento para la energía solar se convierta en un robusto mercado capital para el 2016. Clean Power Finance es una compañía de finanzas y software que maneja medio millón de dólares en financiamiento a proyectos solares residenciales¹²². El modelo de negocios que maneja Clean Power Finance aprovecha los servicios de internet basados en la nube. Usando estas herramientas, inversionistas y prestamistas se puede acceder a inversiones en proyectos de instalaciones residenciales manejadas por compañías de energía solar que también hacen uso del sitio Web de Clean Power Finance.

Desde 2006, la energía solar residencial y comercial en Estados Unidos ha crecido con una tasa anual del 76%¹²³. Como las innovaciones financieras que GMAC llevo a cabo a principios del siglo XX; innovaciones que catapultaron la industria automotriz y la transformo en la más grande industria de manufactura en Estados Unidos. Las innovaciones en el financiamiento de la energía solar y los modelos de negocios están sacando provecho del capital privado como nunca antes. Este capital financiará la sustitución trillonaria de la más grande industria del mundo.

Capítulo 3:

Electricidad 2.0: Energía Distribuida y Participativa en la Disrupción de los Servicios Energéticos

***“Las cosas no se cambian peleando contra la realidad existente.
Para cambiar algo, se debe crear un modelo nuevo que haga que el
existente se vuelva obsoleto”***

Buckminster Fuller

“Los celulares no sustituirán a los sistemas de comunicación fija”

Martin Cooper, coinventor del primer teléfono móvil de mano, 1981

“Cambia antes de que estés obligado a hacerlo”

Jack Welch, ex CEO, General Electric

El 5 de noviembre de 2012, la ciudad de Palo Alto, California, anunció un contrato de 25 años para comprar energía solar por aproximadamente 7.7 ¢/kWh ¹²⁴. En contraste, PG&E; la más grandes empresas eléctricas en California, cobra un mínimo de 13 ¢/kWh y un máximo de 34 ¢/kWh para usuarios de “Nivel 4” y de “Nivel 5” (véase Figura 3.1). De manera que Palo Alto paga por energía solar, cerca de la mitad del mínimo de lo que PG&E cobra a sus usuarios residenciales y casi un quinto de lo que cobra a los usuarios con más alto consumo.

El choque de incredulidad no había desaparecido cuando Palo Alto anunció otro arreglo para compra de energía solar, esta vez por menos: 6.9¢/kWh¹²⁵.



Figura 3.1: Precios de PG&E para San Francisco, California (Fuente: sitio web de PG&E ¹²⁶)

Palo Alto tiene un objetivo de 100% de energía limpia y está en camino de comprar 30% de su energía de fuentes limpias para el 2015 y 48% para el 2017. Estas cifras no incluyen las instalaciones que los dueños de hogares o negocios han colocado en sus techos. No solo se trata de que Palo Alto funcionará en un 100% con energía limpia, los bajos costos de la energía están garantizados por los próximos 20 o 25 años.

A medida que las tecnologías asociadas a la energía solar mejoran, el mercado crece y los costos de financiamiento decrecen. Los costos asociados a la energía solar están disminuyendo muy rápidamente. La naturaleza distributiva de la energía solar hace que la sustitución del actual modelo de negocios de las compañías de servicios sea inevitable. Esta sustitución ocurrirá mucho más rápido de lo que la tradicional industria energética espera.

Las compañías energéticas existentes no están viendo el panorama. Cada aspecto de la energía solar es distributivo: la innovación tecnológica, diseño y desarrollo, financiamiento, instalación y mantenimiento. Algunos expertos esperan que pasen muchos años hasta la adopción de la energía solar por parte del mercado, pero los mercados de energía solar, dada su naturaleza distributiva, pueden propagarse muy rápidamente.

Muchas empresas tradicionales de servicios han respondido a la naturaleza distributiva de la energía solar, contratando cabilderos, abogados y contadores para justificar aumentos en sus precios y nuevas tarifas. Lo que están haciendo estos “capitanes” de la industria es equivalente a elevar el precio de la comida en el Titanic.

Precios más altos y nuevas tarifas pueden aumentar su flujo de capital a corto plazo, pero no evitará la inevitable disrupción de su industria.

Australia: La Forma de las Cosas Que Vienen

En 2008 Australia prácticamente no tenía energía solar. En 2012 ya había cruzado la barrera del millón de hogares con instalaciones solares (véase Figura 3.2)¹²⁷. Australia pasó de prácticamente nada a más de un 11% de penetración en el mercado energético residencial en aproximadamente cuatro años.

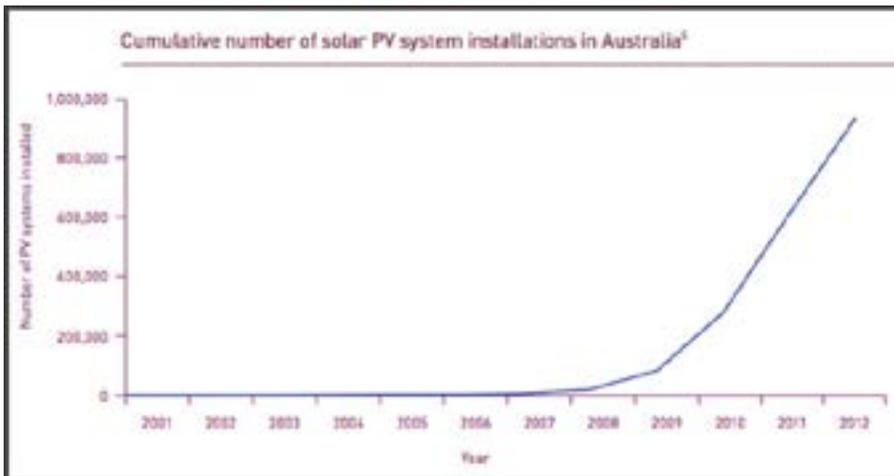


Figura 3.2: Número de instalaciones de energía solar en Australia (Fuente: Australia Clean Energy Council)¹²⁸

Para poner las cosas en perspectiva, se puede comparar Australia con el estado de California y Estados Unidos. La población australiana es de 23 millones de personas¹²⁹, la de California es 38 millones de personas y la de Estados Unidos es de 313 millones de personas¹³⁰.

California representa el más grande mercado de energía solar en Estados Unidos. Mientras la cuota de mercado fluctúa año tras año, el Golden State ha representado siempre, cerca del 50% del mercado de energía solar en Estados Unidos. De acuerdo con la California Solar Initiative, existían 167.878 instalaciones de energía solar a finales de 2012, esto incluyendo instalaciones residenciales, comerciales y plantas de gran escala¹³¹.

Si el estado de California tuviese el porcentaje de penetración australiano, existirían 1,65 millones instalaciones de energía solar, cerca de diez veces más de las que hay hoy en día. Si Estados Unidos tuviese un porcentaje de penetración como el australiano, existirían 13,6 millones de hogares con instalaciones de energía solar. El número de instalaciones de energía solar para finales del 2012 era de 300.000; cerca del 2% de lo que sería si se tuviese el porcentaje de penetración de Australia¹³².

Además se tiene que el porcentaje de penetración del 11% en Australia es un valor promedio. En el estado de Australia Meridional, el 20% de los hogares cuenta con instalaciones solares. De acuerdo con Mike Swanton, de Energex, una compañía de servicio de Queensland: algunos vecindarios tienen una penetración del 90%¹³³.

¿Qué pasa las compañías de servicios cuando los usuarios comienzan a generar su propia energía solar?

1. La demanda por sus servicios cae. Como los usuarios producen su propia energía, compran cada vez menos a las empresas de servicios.
2. La competencia aumenta. Las empresas de servicios comienzan a competir con numerosas empresas de instalaciones de energía solar.
3. Las ganancias de las empresas de servicios caen. Como la demanda cae y la competencia crece, las empresas de servicios generan menos dividendos.
4. Los márgenes de ganancia caen desproporcionadamente. La energía solar alcanza su pico de producción durante los ciclos de facturación con precios más altos, lo que acorta el más alto margen de ganancia para las empresas de servicios.

Los precios de la electricidad en Australia han subido un 50% durante los últimos cinco años, desde 25 ¢/kWh a 38 ¢/kWh¹³⁴. Los precios han aumentado a pesar de que Australia es un gran productor de carbón y gas natural. En 2013, la energía solar ya tenía un costo de 12 ¢/kWh y continuaba decreciendo.

El ex CEO de General Electric, Jack Welch dijo “Si la tasa de cambio en el exterior es mayor que la tasa de cambio en el interior, el fin está cerca”. El modelo de negocios de las compañías de servicios es obsoleto, de manera que para las compañías de servicios el fin está cerca.

Cómo la Energía Solar Sustituirá el Precio Pico de la Energía

La mayoría de las discusiones acerca de energía solar tienen que ver con alcanzar la “paridad a la red de distribución”, la cual se alcanza cuando una fuente de energía alternativa alcanza el mismo precio que la energía obtenida de la red tradicional. Sin embargo, el poder alcanzar esto representa solo una parte del porque la energía solar está sustituyendo a las empresas de servicios.

En la venta al por menor, el modelo de la energía solar es completamente disruptivo en relación al modelo convencional de las empresas de servicios porque destruye su más lucrativo flujo de ingresos: los precios pico.

Las empresas de servicio, históricamente han generado un desproporcionado margen de ganancias de algo llamado los precios pico. El servicio público de Arizona por ejemplo, puede cobrar cerca de 5 ¢/kWh durante horas regulares, pero aumentar esta cifra casi cinco veces (24.4 ¢/kWh) durante las horas pico y casi diez veces (49.4 ¢/kWh) durante las horas “súper pico” en junio, julio y agosto, cuando Arizona alcanza sus mayores temperaturas en el año (véase Figura 3.3)¹³⁵.

Resulta que el servicio público de Arizona cobra casi diez veces su precio base cuando el Sol está brillando con más fuerza. Un usuario residencial que genere su propia energía a partir del sol, comienza a ahorrar dinero desde el primer día ya que el costo de las instalaciones de energía solar es mucho menor que los precios picos que cobran las empresas de servicios. En Arizona, con un sol que brilla con fuerza durante todo el año, especialmente en verano, las instalaciones solares distribuidas son ya mucho más rentables que el pago de servicios a empresas tradicionales.

Mientras más usuarios adoptan la energía solar y compran menos electricidad de las empresas durante las horas pico, las altas primas de las empresas de servicios comienzan a desaparecer. Las empresas de servicios, no pueden apagar y prender sus grandes plantas energéticas de carbón o elementos nucleares dependiendo si la demanda es alta o baja. Estas anticuadas plantas deben seguir produciendo independientemente de los valores de demanda.

Los ejecutivos de las empresas de servicios se han dado cuenta de lo rápido que las grandes primas de las horas pico han decrecido en los mercados con gran penetración de energía solar. Las primas de las horas pico cayeron en 80% en Alemania en solo cinco años, desde 14 euros por MWh en 2008 hasta 3 euros por MWh en 2013, según datos suministrados por el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems¹³⁶.

Energy Charge:

June – August Billing Cycles (Super Peak Summer)	
\$0.49445 per kWh during Super-Peak hours, plus \$0.24445 per kWh during On-Peak hours, plus \$0.05254 per kWh during Off-Peak hours	
May, September, and October Billing Cycles (Summer)	November – April Billing Cycles (Winter)
\$0.24445 per kWh during On-Peak hours, plus \$0.05254 per kWh during Off-Peak hours	\$0.19825 per kWh during On-Peak hours, plus \$0.05253 per kWh during Off-Peak hours

Figura 3.3: Cronograma de precios del servicio público de Arizona; Enero de 2012¹³⁷

Este modelo de los precios pico no solo aplica para precios de usuarios residenciales, también aplican para usuarios industriales, comerciales y agricultores. Pacific Gas & Electric (PG&E) está haciendo la transición hacia los precios pico para los agricultores. ¿Qué significa esto para los granjeros que están en el territorio de PG&E? De acuerdo con Enernoc, una compañía de gestión energética, “el cargo promedio para la irrigación operada con 250 hp (240 kW) podría pasar de \$24 a \$224 por hora”¹³⁸. La energía solar ya tiene costos muchos más bajos que estos. El tener que pagar facturas eléctricas diez veces más grandes hará que más granjeros emigren hacia la energía solar o eólica para alimentar sus sistemas de irrigación.

Dado que las primas de las horas pico decrecen o desaparecen, las empresas de servicios tradicionales verán como sus ingresos disminuyen y los márgenes de ganancia se ven aplastados.

Cómo la Energía Solar Sustituirá el Mercado Energético Mayorista

Los mercados mayoristas de energía también se verán afectados dramáticamente por la energía solar y eólica. Para entender por qué, considérese cómo funcionan los mercados energéticos competitivos (véase Figura 3.4).

1. Un operador de red de distribución (también llamados operadores de sistemas independientes) prevé la demanda energética con un día de antelación. Por ejemplo, los operadores de red de Nueva York prevén una demanda de 1.000 MW desde mediodía hasta la 1:00 pm del día siguiente.
2. El operador de la red de distribución busca ofertas de los generadores de electricidad para cubrir la demanda energética prevista. Las plantas energéticas usualmente ofertan de acuerdo al costo marginal de producir una nueva unidad energética. Imagínese que un productor de energía solar ofrece 200 MW a \$10 por MWh, un productor hidroeléctrico ofrece 300 MW a \$20 por MWh, un productor de energía eólica ofrece 300 MW a \$30 por MWh, un productor a base de gas natural ofrece 400 MW a \$40 por MWh y un productor de energía nuclear ofrece 1.000 MW a \$50 por MWh.
3. Los operadores de red comienzan a comprar energía de aquellas fuentes con mejores ofertas hasta satisfacer la demanda energética prevista (1.000 MW). En este ejemplo, los operadores de red de Nueva York comprarían 200 MW de energía solar, 300 MW del operador hidroeléctrico y 300 MW del operador eólico. Con esto se habrían cubierto 800 MW y solo se necesitarían comprar 200 MW al productor a base de gas natural para cubrir la demanda energética requerida, está se compraría a la tasa más alta \$40 por MWh la cual es conocida como precio de compensación uniforme. La oferta del operador nuclear estaría fuera del rango del mercado.
4. Los operadores de red pagan a todos los proveedores el mismo precio de compensación uniforme que en el ejemplo fue de \$40 por MWh. Esto quiere decir que quienes ofertaron a 20 y \$30 por MWh igualmente reciben \$40 por MWh.

Este método conocido como subastas con precio de compensación uniforme, es usado para los mercados mayoristas de energía en Estados Unidos¹³⁹.

Los operadores de las plantas energéticas ofertan en base a sus costos marginales, es decir, al costo que tendrá producir una nueva unidad energética. El costo marginal está principalmente determinado por el precio del combustible. El costo

marginal de la energía solar (y eólica) es cero, dado que el precio de los rayos de sol o de las ráfagas de viento es cero. El costo de producir una nueva unidad energética es cero en estos casos. La energía solar (y eólica) siempre podrá limpiar mercados competitivos ya que pueden ofertar con costos marginales nulos además de que siempre podrán vender con precios por encima de sus costos marginales ya que estos son cero. Este no es el caso para las industrias basadas en los combustibles fósiles o los elementos nucleares ya que sus costos marginales siempre estarán determinados por los costos crecientes de estos.



Figura 3.4: Precio de compensación en mercados energéticos mayoristas (Fuente: NY ISO)¹⁴⁰

El precio de compensación de mercados competitivos para la venta de energía al mayor es más bajo cuando la energía solar y eólica entran en competencia. En 2011, cada nuevo Gigavatio producto de la energía solar lleva a una disminución en el precio de contado de 82 centavos de euro por MWh (\$1,13 por MWh) en la Bolsa Europea de Energía (EEX, por sus siglas en inglés) de acuerdo con el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ¹⁴¹. Mientras más energía solar entra a la red de distribución, más bajo será el precio de compensación.

Los productores tradicionales con menores costos marginales, logran definir el precio de compensación y vender algo de energía, pero no necesariamente toda su oferta. Los productores tradicionales con mayores costos marginales (diésel, gas natural, nucleares o carbón; dependiendo del mercado) no podrán

vender un porcentaje creciente de su producción. Por esta razón, las plantas nucleares y de combustibles fósiles verán como sus ganancias son aplastadas en los mercados mayoristas.

Adicionalmente, algunas de estas plantas (nucleares y de carbón) no pueden producir energía de acuerdo a la demanda. Por razones técnicas, estas plantas deben seguir produciendo sin importar si venden la energía o no. Literalmente, tendrán que quemar dinero cuando no puedan vender su costosa energía. Las plantas más nuevas de gas natural son más flexibles y pueden producir de acuerdo a la demanda, lo que le da al gas natural una gran ventaja sobre otros combustibles fósiles y sobre las plantas nucleares. Las nuevas plantas de gas natural no necesitan operar cuando su producto sea muy caro para entrar en el mercado.

Bajo modelos de negocios convencionales, las empresas de servicios dominan la producción, transmisión y venta energética. El monopolio que han conseguido las empresas de servicios les ha permitido ser ineficientes y aun así haber garantizado rendimientos por encima del mercado para su capital. Sin embargo, dado que los mercados energéticos se han vuelto más competitivos y como los productores independientes han podido entrar al mercado, el modelo tradicional de las empresas de servicios ha mostrado su ineficiencia. Cuando exista una alta penetración de la energía solar, empresas de servicios tradicionales verán sus ganancias disminuir drásticamente tanto en mercados al por menor como en mercados al por mayor.

La energía solar tanto distribuida como al por mayor están sustituyendo a las compañías energéticas tradicionales y su modelo de negocios de cien años de edad. No son solo los usuarios residenciales los que están generando su propia energía. Los usuarios comerciales también lo están haciendo.

Explorando las Ventajas en los Costos de la Energía Distribuida

Una gran planta energética centralizada es regida por factores económicos particulares. La planta puede distribuir sus costos a lo largo de una gran cantidad de unidades de producción y de esta manera lograr menores costos por unidad. Esto permite a las plantas centralizadas plantear ciertas ventajas en los costos unitarios sobre plantas de generación más pequeñas. Sin embargo, las grandes plantas tienen grandes costos de transmisión y distribución para hacer llegar su energía a los consumidores.

Si se añaden los costos de distribución y transmisión (sin mencionar el salario de los ejecutivos), se encontrará que la energía local y distribuida tiene ventajas en los costos con respecto a la energía centralizada. ¿Cuáles son estas ventajas?

La Autoridad de Energía de Long Island (LIPA, por sus siglas en inglés) realizó un estudio para verificar el costo de construcción de nuevas líneas de generación, transmisión y distribución energética al este de su subestación en Southampton. El estudio concluyó que para LIPA costaría más de 7 ¢/kWh en infraestructura energizar este lugar. Con el reciente sufrimiento infringido por el Huracán Sandy, que devastó la infraestructura de Long Island y New York City, LIPA está completamente al tanto del costo de operación y mantenimiento de subestaciones, líneas de transmisión y postes de distribución durante las próximas décadas.

Los costos de redes de transmisión y distribución varían entre ciudades, estados y países. En Europa por ejemplo, el costo promedio de la red para consumidores residenciales varía sustancialmente, de Bélgica y Noruega en el extremo superior de la escala a Malta y Lituania en la parte inferior (véase Figura 3.5). Muchos factores afectan los costos de las redes, incluido el voltaje utilizado, la topografía del terreno, el tamaño del país y la ubicación de los activos de generación.¹⁴²



Estos costos de red son para sistemas de transmisión y distribución existentes; la mayoría de los cuales fueron construidos hace varias décadas. Construir una nueva red es bastante costoso. Los costos de esta tecnología varían desde

\$927.000 por milla para un circuito simple de 230 kV hasta los 3 millones por milla para un circuito doble de 550 kV¹⁴⁴. El costo final de la construcción de una línea de transmisión incluye el derecho de vía y los costos del terreno (Si se está construyendo entre las montañas este factor se puede multiplicar por un factor de 1,7).

Todo esto supone que una nueva red de distribución es completamente factible. En 2010, solo 3.100 millas de nuevas redes estuvieron en construcción en Norteamérica. Un incremento de 0,7% para las 452.699 millas que ya existían para el momento¹⁴⁵.

Para evitar la necesidad de inversiones millonarias o comenzar proyectos de construcción con décadas de duración, LIPA decidió dar un incentivo de 7 ¢/kWh para la generación distribuida de energía eléctrica.¹⁴⁶ Esto no solo les permitirá ahorrar dinero a largo plazo, además podrá mantener su capital en el banco mientras los demás hacen inversiones para infraestructura.

La producción de energía centralizada tiene una desventaja de costos de 7 ¢/kWh con respecto a la generación distribuida. En otras palabras, si una instalación de energía solar puede generar energía a 10 ¢/kWh, la planta de producción centralizada tendría que ofrecerla a 2 ¢/kWh para poder competir. Ninguna fuente de energía centralizada basada en la extracción puede generar energía a este precio, sin importar que tan subsidiada esté. No puede hacerlo el gas, ni el carbón y mucho menos el diésel o las plantas nucleares.

El costo de generación de energía solar sigue disminuyendo. Muy pronto el costo caerá por debajo de los 7 ¢/kWh, el mismo de una red de distribución y transmisión. En ese momento, la generación de energía convencional tal como la conocemos podrá ser borrada.

¿Qué tan pronto puede esto ocurrir? La ciudad de Palo Alto anunció un acuerdo para comprar energía solar por 6,9 ¢/kWh¹⁴⁷. Si la energía solar distribuida puede operar con estos costos, los días de las empresas de servicios están contados. Para competir en el mercado al por menor las empresas de servicios tendrían que vender electricidad generando pérdidas y este no es un modelo de negocios sostenible; esto referido a una sostenibilidad financiera no ambiental.

El acuerdo de Palo Alto es por 52 MWh de energía solar al año, que en este caso vendrán de una planta de 20 MW de capacidad. Esta planta tiene una capacidad mucho menor que la de un reactor nuclear promedio (cerca del 5% de su pico) pero es mucho más pequeña. Las plantas energéticas tradicionales pueden ubicarse cerca del lugar que alimentarán, pero no exactamente en él.

Instalaciones Solares de Wal-Mart, IKEA y las “Cajas Grandes”

Al observar una tienda o centro de distribución de IKEA se puede ver una caja enorme con un montón de espacio en el techo. El potencial económico de instalaciones solares en el techo de IKEA era usualmente desperdiciado, pero esto ha dejado de ser así. A partir del 2013 IKEA colocó instalaciones de energía solar con capacidad de 34,1 MW en 39 tiendas en Estados Unidos ¹⁴⁸. Ahora, el 89% de las tiendas de IKEA en Estados Unidos tienen instalaciones de energía solar.

IKEA no es la única tienda con forma de gran caja que aprovecha la energía solar. Wal-Mart ha instalado 89,4% MW en 215 tiendas, Costco ha instalado 47,1 MW en 78 tiendas y Kohl's ha instalado 44,7 MW en 147 tiendas. Mientras que IKEA ha colocado instalaciones en el 89% de sus tiendas, Wal-Mart solo lo ha hecho en el 5% de las suyas, pero Wal-Mart proyecta colocar instalaciones solares en miles de sus 4.522 tiendas para el año 2020¹⁴⁹. Muchas de estas “cajas grandes” venden paneles solares fotovoltaicos además de utilizarlos.

La capacidad promedio de las instalaciones de energía solar de Wal-Mart solo llega a los 415 MW. Si Wal-Mart instalase esta capacidad en cada una de sus tiendas tendría una capacidad en energía solar de 1,8 GW, una capacidad casi igual al pico energético de dos reactores nucleares promedio. Aun así la capacidad promedio de las tiendas de Wal-Mart es menos de la mitad de las de IKEA (874 kW), pero considerando que el costo de los paneles solares fotovoltaicos sigue bajando y los costos de la energía tradicional siguen subiendo, tiene sentido que Wal-Mart construya más instalaciones de energía solar.

Asumiendo que Wal-Mart alcance la capacidad de IKEA en todas sus tiendas en Estados Unidos tendría una capacidad energética basada en la energía solar distribuida de 3,8 GW. Wal-Mart tendría una capacidad máxima de generación similar a la de cuatro plantas nucleares.

Wal-Mart también podría ahorrarse medio billón de dólares al año en gastos asociados a la energía. Asumiendo un costo promedio de la energía de 10 ¢/kWh, las empresas de servicios verían sus utilidades reducidas en 570 millones de dólares por la energía que dejarían de proveer a Wal-Mart.

Extendiendo el programa de Wal-Mart a sus 10.400 tiendas en 27 países, y este tendría una capacidad energética de 9,18 GW producidos a partir de energía solar, igualando la capacidad energética de nueve plantas nucleares.

Dado que los costos de la energía solar disminuyen y los de la energía tradicional aumentan, el atractivo de la energía solar para las “grandes cajas” aumenta, dado que es un gran incentivo para las tiendas generar aún más energía solar.

Las grandes empresas de servicios están a punto de perder billones de dólares en ganancias anuales si las “grandes cajas” comienzan a generar más de su energía a partir de instalaciones de energía solar. La disminución en la demanda de parte de clientes comerciales, especialmente durante “periodos pico”, disminuirán las primas por picos de costo, las ganancias anuales y aplastando los márgenes de las empresas tradicionales.

IKEA espere suplir toda su demanda energética con energía solar y eólica para 2020¹⁵⁰. Wal-Mart también se fijó la meta de generar el 100% de su energía a partir de recursos limpios¹⁵¹. Mientras más grandes organizaciones se vuelvan energéticamente independientes, las empresas de servicios se encontrarán perdiendo a todos sus clientes principales de forma simultánea.

Un ciclo vicioso de disminución de ganancias, márgenes, capacidad de utilización, rendimientos e inversión se instaurará. Los costos de capital de las empresas convencionales de servicios aumentarán, haciendo su energía más costosa, lo que a su vez, alimenta el contraproducente ciclo.

Wal-Mart, IKEA y otras “cajas grandes” independizándose energéticamente es un mal escenario para las compañías de servicios, pero probablemente éste no sea el peor escenario para ellas.

El próximo paso disruptivo será cuando estas compañías pasen de generar su propia energía a convertirse en proveedores de energía.

Las empresas de servicios, están habituadas a tener rentas monopólicas cómodas. La competencia no está en su ADN. Cuando la “grandes cajas” comiencen a generar excedentes de energía, las empresas de servicios se encontrarían compitiendo con sus antiguos clientes. Los ejecutivos de las empresas de servicios no quieren competir con pequeños startups de Silicon Valley como Sungevity, SolarCity o SolarRun. Las grandes empresas de servicios pueden contenerlas temporalmente gracias al sistema de regulación público que construyeron y del cual han vivido por años. Sin embargo, la idea de una compañía poderosa, saludable, conocedora de la tecnología y altamente competitiva como Wal-Mart entrando al mercado energético con una oferta altamente económica es algo que hace que los ejecutivos del mundo de los servicios volteen a revisar sus fondos de retiro.

En el mundo de la generación distribuida de energía, las “cajas grandes” entrando al mercado energético está destinado a suceder. Recordando que el costo

marginal de la energía solar es cero, la generación de las “cajas grandes” siempre tendría la disponibilidad de limpiar los mercados competitivos de energía.

Wal-Mart y otras “cajas grandes” podrían incluso decidir vender la energía directamente a sus consumidores. De acuerdo con un reporte reciente de Accenture, 59% de los consumidores consideraría comprar su energía directamente de una tienda como BestBuy, Tesco o Carrefour¹⁵². El reporte también muestra que el 47% de los consumidores energéticos consideraría comprar energía de una compañía online. ¿Se podría imaginar a Amazon.com en el mercado energético?

Las “grandes cajas” no son las únicas en percatarse del gran valor de las instalaciones de energía solar sobre los techos. Compañías industriales como VW, Nissan y Apple han anunciado proyectos bastante grandes asociados con la energía solar. La gigante automotriz alemana Volkswagen recientemente anunció la terminación de una planta solar de 11 MW en España¹⁵³

Apple, la más grande compañía del mundo de acuerdo a la capitalización de mercado, tiene el objetivo de ser una compañía energéticamente independiente, alimentada en un 100% por energía limpia. En 2012, Apple construyó una planta de generación solar con una capacidad de 20 MW en un terreno cercano a su centro de datos en Maiden, North Carolina. De acuerdo a la compañía, ésta es la más grande planta solar que es propiedad del usuario final en el mundo. Esta compañía está también construyendo una segunda planta a una milla de su centro de datos. Se espera que esta planta inicie operaciones para finales de 2013¹⁵⁴. De acuerdo con Apple, su nuevo centro de datos en Reno, Nevada, será completamente alimentado por energía solar y geotérmica.

La Industria Inmobiliaria Descubre la Energía Solar

Prologis es una empresa líder en la posesión, operación y gestión de bienes inmobiliarios, con propiedades a lo largo del mundo. Solo en América, Prologis maneja 40 billones de dólares en bienes, incluyendo aproximadamente 563 millones de pies cuadrados (52,3 millones de metros cuadrados) de espacios de logística y distribución¹⁵⁵. Esto representa una gran cantidad de techos que no están generando ningún ingreso. ¿Podría Prologis cambiar este paradigma haciendo uso de instalaciones solares sobre sus techos? Por supuesto que sí.

En junio de 2011, Prologis anunció una sociedad con NRG Solar y con Bank of America para construir instalaciones de 753 MW en los techos de sus

propiedades¹⁵⁶. Esto permitiría generar suficiente energía para alimentar cien mil hogares. Bank of America concedió 1,4 millones de dólares para este proyecto. Prologis ya ha construido 34 instalaciones con una capacidad de 79,6 MW¹⁵⁷.

Otros operadores inmobiliarios han tomado la idea. Hartz Lights Industries 17 instalaciones solares con una capacidad total de 19,2 MW. Kimco construyó 3 MW en seis localidades.

Prologis y Hartz Lights Industries manejan cientos de millones de pies cuadrados de instalaciones industriales. Como ellos demostraron que la generación energética basada en la energía solar puede producir ingresos, miles de operadores inmobiliarios en el país se unirán a esta tendencia.

El Termóstato Robótico

La energía solar no es la única tecnología que está sustituyendo a las empresas de servicios. Los robots y otras tecnologías de Silicon Valley están comenzando a recortar las ganancias del negocio de los servicios.

La ingeniera Yoky Matsuoka recibió una beca MacArthur en 2007. La fundación del mismo nombre comentó que su trabajo “cambió la forma en que entendemos como el sistema nervioso central controla el sistema musculoesquelético y como la intervención de la robótica puede ayudar a personas con problemas de motricidad”¹⁵⁸. Cuando Matsuoka recibió la beca, ella era profesora asociada de ciencias de la computación e ingeniería en la Universidad de Washington, donde dirigía el laboratorio de neurobótica y el Centro Sensomotor de Energía Neuronal.

Matsuoka recibió su Ph.D. del MIT y prácticamente creó el campo de la neurobótica (la combinación de la neurología y la robótica). Su beca MacArthur le concedió \$200.000 para gastar en los cuatro años siguientes. ¿Qué hizo entonces la Dra. Matsuoka? Regresó a Silicon Valley, donde después de un breve paso por Google, se unió a un pequeño startup llamado NEST Laboratories como la vicepresidenta de tecnologías. NEST fue iniciada por dos de los diseñadores del iPod original que querían lograr en el campo energético, lo que Apple logró en el campo de la música.

En 2012 NEST lanzó el termostato con capacidad de aprendizaje. No se trataba de un termostato programable cualquiera. Era un sistema de inteligencia artificial basado en sensores y habilitado gracias al internet que continuamente escanea la temperatura de un hogar y aprende las preferencias de sus habitantes.

El calentamiento y el enfriamiento de los hogares representan el 56% del consumo de los usuarios estadounidenses promedio; esto de acuerdo con el Departamento de Energía de Estados Unidos ¹⁵⁹. Las facturas por electricidad pueden ser bastante dolorosas cuando los aires acondicionados funcionan a toda marcha durante el verano. El consumo energético aumenta en más de un 40% durante los días calurosos de verano ¹⁶⁰. Cuando la mayoría de los usuarios accionan sus aires acondicionados, los costos de la energía al por mayor pueden aumentar en un 100%. De manera que los hogares consumen mayor cantidad de energía cuando esta es más costosa. Es por esto que las facturas eléctricas llegan fácilmente a los cientos de dólares durante el verano.

De hecho, en muchos mercados del mundo durante el verano, los precios pico de la electricidad pueden ser varias veces más altos que el precio mínimo o el precio promedio. Durante una ola de calor en Texas en 2011, los precios aumentaron hasta los \$6 por kWh, más de diez veces el precio normal durante los picos de precio (véase Figura 3.6). Es irónico que el precio de la electricidad llegue a 50 veces lo que cuesta la energía solar precisamente en los días donde se puede aprovechar de mejor manera la energía proveniente del sol.

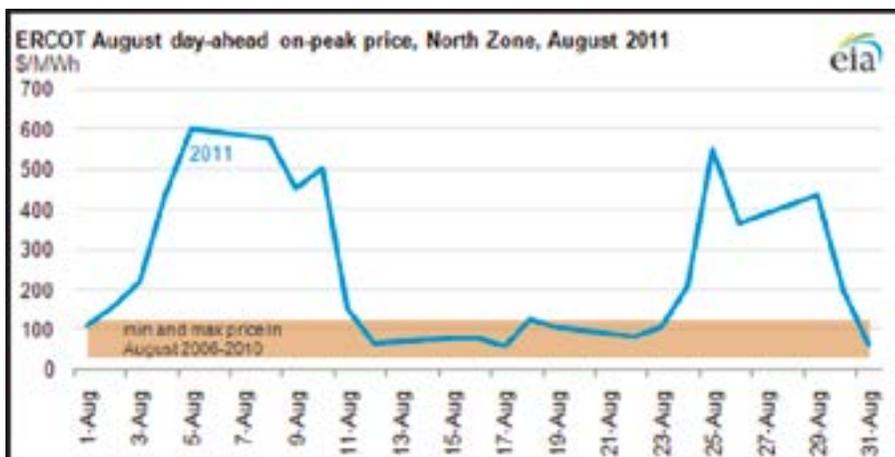


Figura 3.6: Precios pico de la electricidad en Texas, Agosto de 2011 (Fuente: EIA)¹⁶¹

Los días extremadamente calientes no van a desaparecer. En 2012, más de 27.000 records de temperaturas diarias se quebraron en Estados Unidos¹⁶². El período entre junio de 2011 y junio de 2012 fue el año más caliente registrado en Estados Unidos, de acuerdo con la National Oceanic and Atmospheric Administration¹⁶³

El uso inteligente de los aires acondicionados puede reducir considerablemente el consumo energético. Los termostatos programables han sido ampliamente vendidos por décadas, pero estos son difíciles de usar ya que son difíciles de programar. Los clientes normalmente dejan de usarlos después de algunas semanas.

Yoky Matsuoka y NEST lograron cambiar esta situación. Usando inteligencia artificial los termostatos de NEST registran las preferencias de los usuarios y sus niveles de confort. Los usuarios pueden programar la temperatura con un simple dial (por ejemplo, desde un iPod). Los sensores determinan cuando el usuario está en casa y ajustan el termostato de acuerdo a la información recopilada sobre este. Para minimizar el consumo, el termostato ajusta la temperatura cuando el usuario se va al trabajo. Una app disponible para iOS y Android le permite al usuario ajustar el termostato, prender o apagar el aire acondicionado o la calefacción. De hecho, un usuario que llegué a su casa del trabajo a las 5:45 pm podría programar su sistema para que comience a funcionar cerca de esa hora y así tener una temperatura agradable al llegar.

Durante su primer año de operaciones, este sistema les ha ahorrado a sus clientes hasta 50% en sus facturas energéticas.

El termostato NEST fue solo la primera iteración del producto. Se debe recordar que el termostato es una computadora de la misma manera que el iPhone es una computadora. A medida que NEST desarrolla nuevas características para su termostato, los usuarios las pueden descargar en su termostato por medio inalámbricos.

Todas las tecnologías sobre las que está constituido el termostato se van mejorando de forma exponencial: sensores, aprendizaje de las máquinas, comunicación inalámbrica, manejo de grandes volúmenes de datos y computación distribuida. Los sensores son cada vez mejores, más baratos, rápidos, pequeños, más interconectados y con mayor eficiencia energética. Los sensores son inherentes a los smartphones, tablets y dispositivos “wearables”. Un Samsung Galaxy S4 por ejemplo, tiene sensores para detectar movimiento, luz, temperatura, humedad, ubicación y otros (véase Figura 3.7).

Uno de los principales proveedores mundiales de sensores está radicado en Silicon Valley, Invensense Inc., cuyo ex CEO y fundador, Steve Nasiri, le habló a mi clase de Stanford y comentó que sensores de movimiento que costaban \$25 hace una década, actualmente no alcanzan los \$2. Además los sensores de hoy en día son cien veces más pequeños y diez veces más eficientes energéticamente. Tales sensores probablemente solo costarán unos pocos centavos en una década.



Figura 3.7: Sensores en un Samsung Galaxy S4 (Fuente: Samsung)¹⁶⁴

NEST está llevando la eficiencia energética a un producto tecnológico, económico y de rápida aceptación. La eficiencia energética tradicionalmente ha tenido que ver con modificaciones en la configuración de los hogares: nuevas ventanas, nuevas instalaciones en las paredes y uso de luces LED. Estas son cosas importantes, pero el termostato inteligente también lo es. Con solo gastar \$299 y cinco minutos para instalarlo en un hogar, se puede ahorrar el 50% de las facturas de electricidad. Si miles de personas lo hicieran, se ahorrarían cientos de millones de dólares.

Las empresas de servicios deber estar atentas: el consumo energético va a disminuir considerablemente y esto debido astutos productos de la tecnología de la información como el termostato de NEST. De la misma manera que la energía

solar, los dispositivos inteligentes para la gestión energética, contribuirán al ciclo que ayudará a sustituir a las empresas de servicios.

Mientras más usuarios gestionen su uso energético con productos que utilicen la inteligencia artificial, la demanda total para los costosos picos de costos energéticos ira decreciendo. Las empresas de servicios tendrán que dividir sus costos operativos entre denominadores cada vez más grandes, esto hará que las facturas sean cada vez más grandes. Consecuentemente cada vez más usuarios se mudarán a la energía solar y a dispositivos inteligentes para la gestión energética. Una vez que este ciclo comience será bastante complicado de detener.

Adicionalmente, compañías como NEST están apenas comenzando. Recientemente en una conferencia de robótica en San José, California. Yoky Matsuoka anunció el nuevo producto de su compañía Protect: un detector de humo y de monóxido de carbono.

Los detectores de humo no son el tipo de producto que haría preocupar a las compañías de servicios, pero en este caso, si deberían hacerlo debido a que este dispositivo viene con un montón de sensores que tienen mucho que ver con el flujo energético en un hogar. Estos son los sensores presentes en el dispositivo:

- Detector de humo fotoeléctrico.
- Sensor de monóxido de carbono.
- Sensor de Calor.
- Sensor de luminosidad ambiental.
- Sensor de humedad.

Cada segundo, de cada minuto, de cada día, Protect recolectará en un arreglo multidimensional información sobre el flujo energético en cada uno de los hogares donde esté instalado. Protect recolectará más información acerca de la energía de la que haya almacenado cualquier otro dispositivo en la historia. NEST tendrá más información acerca del consumo energético en los hogares de la que alguna vez haya soñado.

Ciertamente el propósito de los datos es proteger a los usuarios del humo y el fuego. Pero al analizar inteligentemente los datos, las posibilidades de desarrollo para nuevos productos y servicios para los hogares pierden cualquier barrera.

En 2014, Google compró a NEST por 3,2 billones de dólares. Considerando los inmensos recursos computacionales de Google funcionando a la par con la enorme infraestructura de datos manejada por NEST, las posibilidades son infinitas.

Cómo el “Big Data” Aumentará el Rendimiento de las Energías Limpias

Climate Corp, una compañía radicada en San Francisco, es un buen ejemplo de como las tecnologías de Silicon Valley pueden destrabar y aprovechar las ventajas del manejo de grandes volúmenes de datos; también conocido como “big data”. La compañía fue fundada en 2009 por dos ex empleados de Google. Utilizando datos climáticos provistos por el gobierno de Estados Unidos, Climate Corp crea productos para mejorar el rendimiento de los cultivos de agricultura. La compañía combinó treinta años de datos climáticos, con sesenta años de datos sobre la eficiencia en cultivos y 14 Terabytes de datos de suelos, para aplicaciones como la investigación y valorar seguros para cosechas¹⁶⁵. En octubre de 2013, Climate Corp fue adquirida por el gigante de la agricultura Monsanto por un monto de 930 millones de dólares.

Los datos utilizados por Climate Corp fueron provistos de forma completamente gratuita por parte del gobierno de Estados Unidos. Climate Corp creó tecnología de la información al desbloquear el valor de estos datos. Consideré los alcances de NEST trabajando de forma similar. Combinando la información meteorológica provista por el gobierno de Estados Unidos con los datos privados obtenidos de sus billones de sensores ubicados en decenas de millones de hogares, NEST podría desbloquear el valor del “big data” como nunca antes en la historia.

Para una empresa de servicios, un hogar es como una caja negra donde se coloca energía y se obtiene dinero. Estas empresas no tienen mucha información de sus clientes.

En contraste, NEST está construyendo una base de conocimiento para diseñar productos apoyados entre sí y sustituir en este proceso industrias como la energética. De la misma manera que un iPhone está conectado a un iPad, el termostato y la alarma de humo; Protect, de NEST están conectados entre sí, lo que les permite comunicarse y aprender el uno del otro. Por ejemplo, de acuerdo con Yoky Matsuoka, 40% de los incendios se inician en los hornos. De manera que a través de los termostatos se puede percibir el aumento de la temperatura en los hornos y ayudar así a las alarmas a determinar si el humo que perciben está asociado a un incendio genuino o es solo producto de una carne quemada.

NEST es un buen ejemplo de la economía de rendimientos crecientes de Silicon Valley. Para los dueños de los hogares, comprar el sistema de alarma de NEST añade valor a su sistema de termostato y viceversa. Igualmente, si un vecino compra una alarma de humo de NEST se reduce el riesgo de incendio en el vecindario. Mientras más vecinos compren termostatos y sistemas de alarmas

de NEST, esta compañía tendrá acceso a una mayor cantidad de datos y así podrá mejorar sus productos en base a la información recolectada. Todos los nuevos y viejos usuarios de los termostatos o sistemas de alarmas se beneficiaran de esto al descargar nuevas actualizaciones de software.

Los termostatos de hoy están recolectando datos sobre las percepciones de los clientes para desarrollar así la plataforma de gestión energética de mañana; y podrían ser también el comienzo de una nueva plataforma para el comercio de la energía.

La Disrupción Cero: El Museo de Ciencias Exploratorium

La ciencia está sustituyendo a la industria energética de muchas formas. En San Francisco el Exploratorium está mostrando el camino para la disrupción cero.

Hace poco, el Exploratorium abrió las puertas de sus nuevas instalaciones en los muelles 15 y 17 del Embarcadero de San Francisco. New York Times calificó este museo como “El más importante museo de ciencias que haya sido abierto desde mediados del siglo XX”¹⁶⁶.

Anteriormente ubicado junto al Palacio de Bellas Artes en el Distrito de la Marina, el Exploratorium triplicó su tamaño hasta los 330.000 pies cuadrados, construyó un teatro para 400 personas y ahora todo el personal trabaja en las propias instalaciones del museo (anteriormente habían oficinas del museo en diferentes edificios). El museo espera duplicar sus visitas de medio millón a un millón de visitantes anuales.

Y con todo este crecimiento, una cosa bajo a cero: su factura energética. El Exploratorium está diseñado para ser un campus energéticamente independiente, alimentado en un 100% por paneles solares fotovoltaicos ubicados en su techo. El museo ha construido una instalación solar con capacidad de 1,4 MW de la cual se espera una generación de 2,1 GWh en su primer año de funcionamiento. El museo espera que la energía solar pueda cubrir totalmente su requerimiento energético anual. Este consumo energético habría costado cerca de \$300.000 anuales por medios tradicionales¹⁶⁷.

Los paneles solares generaran toda la energía, pero esta no es la única razón por la cual el Exploratorium es un ejemplo de la arquitectura energética del siglo XXI. El Exploratorium está diseñado para ser energéticamente eficiente. Este edificio

consume solo en 50% de la energía que utilizaría un edificio convencional de magnitud similar, de acuerdo con Chuck Mignacco, el jefe de operaciones del edificio.

Construido en un muelle, frente al mar, el museo utiliza innovadores sistemas de gestión del agua y la energía llamados “Sistema de Calentamiento y Refrigeración del Agua de la Bahía”. Ocho motores accionados con energía solar bombean 73.800 galones de agua de la bahía, está agua es filtrada, esterilizada y circulada a través del edificio (véase Figura 3.8). El agua filtrada es utilizada para calentamiento o refrigeración de acuerdo con la época del año. Cada oficina, cada exhibición y cada laboratorio es enfriado o calentado haciendo uso del agua de la bahía. Incluso el centro de datos ubicado en el segundo piso es refrigerado haciendo uso del agua de la bahía. Este ingenioso sistema permite al museo usar 80% menos energía para el enfriamiento y 77% menos energía para el calentamiento que edificios similares con sistemas convencionales.

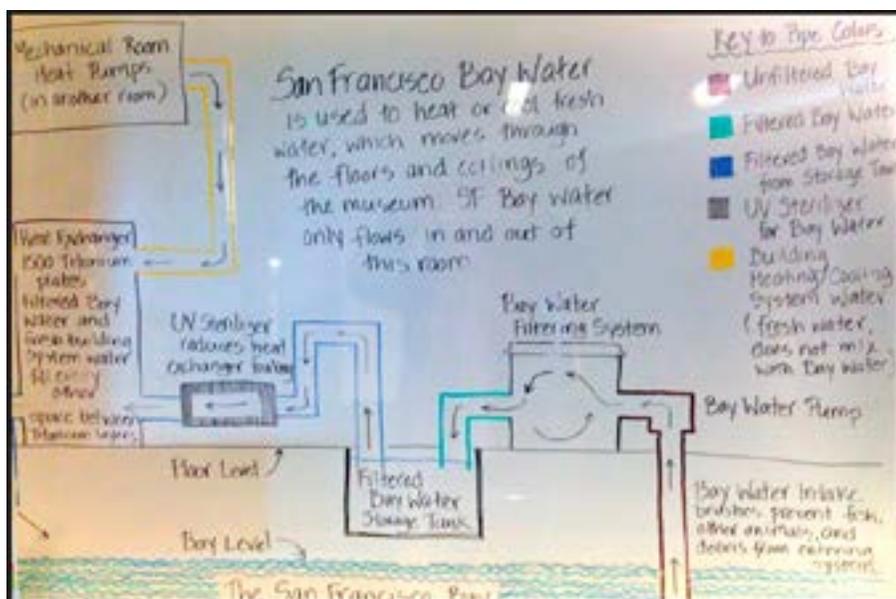


Figura 3.8: Sistemas de Calentamiento y Refrigeración del Agua de la Bahía (Foto: Tony Seba)

Los mecanismos convencionales para la refrigeración y el calentamiento serían el uso de torres de enfriamiento, que son igualmente ineficientes y visualmente intrusivas, además de la necesidad de hacer uso de gas natural para accionar estos sistemas¹⁶⁸. Pero el Exploratorium no es un edificio convencional. En su interior todo es accionado por medio de energía solar; las luces LED, las bombas de agua (para enfriamiento y calentamiento), ventiladores, computadoras y equipos de laboratorio.

Las emisiones de carbono del edificio serán nulas, con excepción de la tubería de 1 pulgada de diámetro que lleva gas natural para ser utilizado en la cocina.

Cómo los Diseños Distributivos Ayudan a la Energía Limpia

El 24 de julio de 2013, Mike Sami y yo estuvimos en su oficina en Millbrae, California, analizando una planta de energía eólica con capacidad de 400 MW que estamos desarrollando para la República de Georgia. Un ingeniero de evaluación de recursos eólicos nos envió los diseños vía email el día anterior. Observando la planta gracias a Google Earth, podíamos dar click en cada turbina para obtener un Pop-up informativo con información clave: altura, coordenadas, velocidad del viento y otros. Mike notó que algunas turbinas de 3 MW estaban sobre las crestas. El me preguntó si consideraba que debían ser movidas y de ser así si debían ser movidas a otra cresta donde ya se encontraban ubicadas media docena de turbinas.

Se debe encontrar el equilibrio adecuado en el diseño de una planta de energía eólica. No se pueden colocar turbinas que estén muy cercanas entre sí, ya que estas se ven afectadas unas a otras. Sin embargo, dada la necesidad de construir líneas de distribución y vías para cada una de las turbinas, es beneficioso alinear la mayor cantidad de ellas sobre una cresta común. Por esto corrimos simulaciones computarizadas para encontrar la configuración que optimizara la producción mientras se minimizan los costos. Este es un paso necesario en el diseño de plantas energéticas.

Al final de aquella tarde, le enviamos por email nuestros comentarios al ingeniero en España para que los revisará. A la mañana siguiente, me desperté como lo hago usualmente a las 4:00 am, poco después recibí un email desde Madrid con tres proposiciones para la configuración de las turbinas.

Me vino a la cabeza que diseñar una planta de energía solar o eólica se parece mucho a un proyecto de programación de tecnología de la información. En ambos casos individuos altamente capacitados colaboran a través de internet haciendo uso del "big data", plataformas de tecnología abierta y conocimiento que otros crearon y compartieron previamente.

Los datos eólicos de le República de Georgia están disponibles públicamente gracias a la NASA y al departamento de energía estadounidense. Google creó a Google Earth y las herramientas para crear mapas y generar así diseños que aprovechen esos mapas. El software para simulaciones eólicas era originalmente

de plataforma libre, docenas o tal vez miles de programadores e ingenieros eólicos entregaron miles de horas para hacer estas herramientas y colocarlas a la disposición de otros. Cualquiera que quisiera mejorar el software podía hacerlo.

Los procesos de simulación pudieron incluso haberse llevado a cabo en una red de computadoras ubicadas en distintos países, para aprovechar así el uso de computadores de muchas personas. Imagino que nuestros ingenieros de valoración eólica en España utilizaron computadores en la oficina americana que quedaron ociosos al momento que el equipo regreso a casa o probablemente usaron servicios en la nube, como el Amazon's Web Services. Todos los elementos que ayudaron al crecimiento del internet estaban allí.

La electricidad 2.0 es al mismo tiempo tecnología de la información e infraestructura de la energía. Como tal está gobernada por la economía de la información. Por su parte la energía solar y eólica; tal como la computación, están basadas en la economía de los rendimientos crecientes.

Conozcan a Rachel Rhodes, Disruptora Solar a Distancia

Hace poco pagué una visita a Sungevity, una de las compañías de energía solar con más rápido crecimiento en Silicon Valley. Sungevity diseña, financia, instala y opera plantas solares residenciales.

Sungevity no manufactura paneles solares fotovoltaicos, transformadores o ningún otro componente de hardware. La compañía no es dueña de camiones u otro inventario de hardware. Sungevity ni siquiera tiene personal que escale sobre el techo de sus clientes para instalar los paneles, realizar mediciones o labores de mantenimiento.

Sungevity es una compañía de software y financiamiento. Desde el momento que un potencial cliente de energía solar se registra en el sitio web de Sungevity (o en alguno de sus sitios web asociados), todo se hace desde las oficinas de la compañía en Oakland.

Para diseñar la instalación de energía solar sobre el techo, Sungevity tiene un equipo de diseñadores a distancia. Estuve conversando con Rachel Rhodes, quien me mostró como diseñaba las instalaciones para un techo ubicado a millas de distancia.

Rachel Rhodes se graduó del a Universidad de Tufts en relaciones internacionales y ciencias ambientales. Ella ha estado en Sungevity por año y medio. Para el

diseño ello obtiene inicialmente la dirección del cliente a través de una ventana en su computador. Otra persona de la compañía ya ha utilizado treinta o cuarenta minutos para hablar con el cliente por teléfono, sobre su consumo energético, las posibilidades de financiamiento y otros aspectos relevantes. Rhodes procede a visualizar el techo de la casa gracias a Google Earth. Los techos pueden ser de muchas formas. Rhodes tiene muchas posibilidades para ubicar los paneles solares para maximizar la producción y minimizar los costos.

Toda jurisdicción en los Estados Unidos tiene distintos códigos y normativas para la construcción. Por ejemplo, algunas ciudades ordenan el uso de tres metros de retroceso, lo que disminuye la superficie disponible para ser utilizada por los paneles. Rhodes debe examinar la ubicación y las zonas de potencial sombra. En una segunda pantalla de 20 pulgadas ella puede apreciar una vista un poco diferente del techo sobre el que está trabajando. Esta segunda vista de la un ángulo diferente en el cual puede estudiar de mejor manera las sombras.

Seguidamente Rhodes comienza a ubicar los paneles solares virtuales sobre el techo. En este momento el cliente ya ha informado a Sungevity sobre su consumo eléctrico. Rhodes toma esto en cuenta para hacer el diseño de la distribución y el tamaño de los paneles. Es como si estuviera jugando un juego de computador: un tetris solar.

En menos de diez minutos, ella se decide por una configuración. El cofundador de la compañía Danny Kennedy me indica que el diseño a distancia es más rápido y preciso que enviar personal a realizar mediciones directamente sobre el techo. El trabajo de Sungevity está generando productos y servicios “más rápidos, menos costosos y mejores” que los de la competencia.

Basado en el diseño de Rhodes, los clientes reciben un “iQuote”; un plan para recibir energía solar por los próximos veinticinco años. Si el cliente acepta el plan, el software de Sungevity comienza inmediatamente a procesar los documentos necesarios, contacta a una compañía local certificada para realizar la instalación y comienza la logística para entregar e instalar los paneles en la casa del cliente.

La instalación de los paneles lleva solo algunas horas y depende principalmente de la forma de casa y su techo.

Sin embargo, el procesamiento de los documentos, que está controlado por las jurisdicciones y las empresas de servicios, es el cuello de botella que puede demorar algunas semanas o incluso meses.

Rhodes ha utilizado el software para el diseño de las instalaciones de energía solar para Estados Unidos, Holanda y Australia, todo desde su cubículo en

Oakland. ¿Hubo alguna diferencia con Australia? Rhode indica que en Australia los paneles deben orientarse al norte.

La industria de la energía solar involucra a un personal altamente capacitado que colabora entre sí mediante el internet. Aprovechando siempre conocimiento que otros crearon y compartieron previamente.

Google creó Google Earth y las herramientas para crear mapas y diseños que los aprovechen. Los datos de incidencia solar están disponibles de forma pública gracias a NASA y el departamento de energía de Estados Unidos. Particulares y compañías a lo largo del mundo están contribuyendo con contenido, tecnología y habilidades para mejorar estas herramientas. Sungevity toma toda esta mezcla de tecnologías y les añade habilidades y propiedad intelectual únicas. Así se resume el espíritu de Silicon Valley en pocas palabras.

Los bits de Silicon Valley se han mezclado con los electrones que vienen del Sol para crear así una infraestructura abierta basada en el internet. Las ciencias económicas que aplican para infraestructuras de internet basadas en bits y electrones están basadas en rendimientos crecientes contra lo que la industria energética extractiva, basada en los átomos no puede competir.

Me retiré de mi reunión con Rhodes pensando que no es difícil imaginar que una tecnología de este tipo pueda construir un millón o diez millones de instalaciones de energía solar y sustituya a las empresas de servicios en un abrir y cerrar de ojos.

La Presión de las Empresas de Servicios: Unir y Elevar los Precios

El Edison Electric Institute, una organización sindical estadounidense para empresas eléctricas propiedad de inversionistas, recientemente publicó un reporte titulado “Retos Disruptivos: implicaciones financieras y respuestas estratégicas para una industria eléctrica cambiante” el reporte remarca la amenaza que representa la energía solar y distribuida para sus integrantes. El Edison Electric Institute indicó a sus miembros que no es necesario cambiar su modelo de negocios, en vez de esto que se debería acudir a la comisión de servicios eléctricos para buscar más contribuyentes.

Entonces, mientras el ejemplo de las telecomunicaciones es una leyenda en cómo responder a la amenaza de las telecomunicaciones el reto a corto plazo para el sector eléctrico está en proporcionar el diseño tarifario adecuado para

permitir la recuperación equitativa de ingresos requeridos para hacer frente al ritmo de la disrupción del sector no económico¹⁶⁹.

En otras palabras “No se preocupen, solo suban los precios”. Algunas de las acciones recomendadas de forma inmediata y a largo plazo fueron:

- Un cargo mensual para los consumidores.
- Un cargo a los contribuyentes para ayudar a las empresas a invertir en nuevos equipos.
- Un cargo por abandonar la empresa de servicios.

En una era con mayor poder de decisión para los consumidores y energía distribuida y limpia con menores costos que la energía convencional se les dijo a las empresas eléctricas que levanten barreras contra el consumo. El Edison Electric Institute promueve una estrategia de “esconder la cabeza”. Así, solo les hace falta para su momento Kodak. Llegará muy pronto.

Mientras tanto las empresas de servicios den Europa, donde la adopción de la energía está guiando al resto del mundo, ya están sintiendo el dolor de la disrupción. Desde su pico en 2008, las 20 principales empresas de servicios eléctricos han perdido la mitad de su valoración de mercado, cayendo del trillón de euros (1,3 trillones de dólares) hasta medio trillón de euros (650 trillones de dólares) en capitalización de mercado¹⁷⁰.

La empresa de servicios alemana E.ON es un ejemplos de la sustitución que están sufriendo estas empresas en Europa (véase Figura 3.9). Para octubre de 2013 su valor en de Recibo Depositario Americano cayó más de la mitad por debajo de 15 en relación a sus máximos cercanos a 30 en 2009 y 2010.

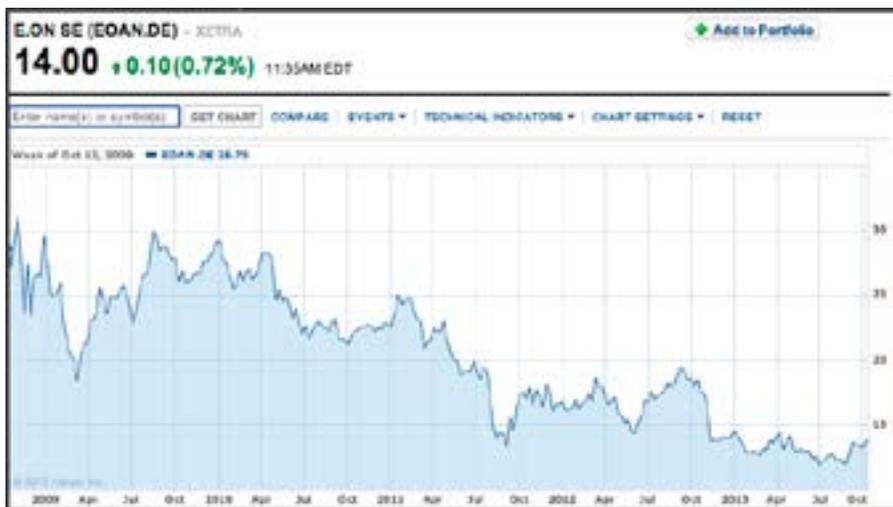


Figura 3.9: Stock chart de E.ON entre 2009 y 2013 (Fuente: Yahoo!)

Una pesadilla para Edison Electric está en progreso. Para 2008, todas las empresas eléctricas en Europa tenían calificación crediticia A o superior. Para 2013 solo cinco de ellas tienen calificación A.

La caída en los precios de las acciones de las empresas de servicios, indica una caída en su valor patrimonial, lo que implica que la inversión de capital cae. El deterioro de las calificaciones crediticias implica que las tasas de interés que se deben pagar por hipotecas de plantas energéticas se incrementan. Esta combinación lleva a claros incrementos en los costos de capital. El mayor costo de capital indica que habrá menos proyectos con valor presente neto positivo de manera que menos nuevas plantas se podrán construir. Esto también implica que las nuevas plantas que se puedan construir producirán energía más cara debido a las tasas de interés más altas.

Esta energía cara no puede competir con la cada vez más económica energía solar (y eólica). Las empresas eléctricas tradicionales ya están cayendo en un ciclo vicioso. Mientras se hacen menos competitivas, pierden más clientes y se les hace más difícil recaudar capital con tasas de interés bajas. Esto hace que se vuelvan menos competitivas.

La Siguiete Ola Disruptiva: Almacenamiento de Electricidad Distribuido

Las empresas eléctricas tradicionales serán golpeadas muy pronto por muchas olas disruptivas. Cada una de las cuales golpeará fuertemente a la centenaria industria energética. Redes de sensores, maquinas inteligentes y dispositivos interconectados permiten la generación distribuida de la energía y una gestión energética centrada en el usuario. Todas estas tecnologías golpearan a las empresas de servicios donde más les duele

- Bajando el precio de compensación en los mercados energéticos competitivos.
- Aplanando el precio pico de la energía en mercados al por menor.
- Bajando la demanda por el aumento de generación por parte de los usuarios.
- Independizando energéticamente a una gran cantidad de usuarios.

Este panorama asustaría a la mayoría de los sectores industriales, pero no a las empresas de servicios tradicionales. Estas están tan firmemente atadas a procesos de reglamentación, que no deben reorganizarse por cambios tecnológicos, cambios en las preferencias de los clientes o en el mercado.

Las empresas de telefonía fija no murieron. Cuando el mundo adopto la tecnología de la telefonía celular a principios de los años 90, la mayoría de las personas conservó su viejo teléfono como un respaldo. Pero como la calidad de los celulares aumentó y la gente se comenzó a sentir cómodos con ellos, presidieron de sus teléfonos alámbricos. Los usuarios que crecieron con los teléfonos celulares jamás compraron un teléfono fijo. Países en desarrollo que no poseían una infraestructura para los teléfonos alámbricos, simplemente saltaron a la tecnología del celular.

Durante la actual ola disruptiva de la energía distribuida, los hogares y negocios usarán a las empresas de servicios como una batería de respaldo, un respaldo caro pero necesario. Las empresas de servicios han existido por un siglo sin tener que competir con nadie para ganar clientes. Este monopolio está cerca de llegar a su fin. Ahora estas tienen que compartir sus clientes con dos compañías basadas en la tecnología y con crecimiento exponencial: los proveedores de paneles solares fotovoltaicos y los proveedores de gestión energética.

Las empresas de servicios muy pronto estarán entrando a un ciclo vicioso de disminución en los costos y aumento de los precios mientras que el mercado estará ofreciendo menores costos y una mayor calidad de servicio.

La próxima ola disruptiva se presentará cuando el almacenamiento energético sea lo suficientemente económico para que los usuarios almacenen en sus casas algo de su propia producción diaria. Una convergencia de tecnologías está disminuyendo los costos de la energía solar y aumentando su calidad exponencialmente.

- El costo de las baterías está bajando y su calidad está aumentando.
- Dispositivos inteligentes de gestión energética están haciendo más eficiente el consumo energético. Estos dispositivos se logran gracias a la disminución de los costos y el aumento de la calidad en software de máquinas con capacidad de aprendizaje, sensores y comunicaciones (NEST es un gran ejemplo).
- El costo de los paneles solares fotovoltaicos está cayendo.
- Los costos de los servicios están subiendo.

La Siguiete Ola Disruptiva: Almacenamiento de Electricidad en el Sitio

La segunda ola disruptiva se presentará cuando los usuarios adopten sistemas de almacenamiento de energía y dispositivos inteligentes para la gestión de esta.

Las empresas de almacenamiento energético han aprendido de innovación en los modelos de negocios de las compañías de energía solar. Hace poco una compañía de Silicon Valley llamada Stem comenzó a ofrecer “almacenamiento como servicio”. Similar al caso de la energía solar, Stem ofrece a sus clientes la posibilidad de tener almacenamiento de energía y gestión energética eficiente sin una cuota inicial. La compañía posee, financia, instala y gestiona los equipos para el almacenamiento de energía a cambio de un contrato por diez años¹⁷¹.

Stem no está ofreciendo solo energía. Esta compañía ofrece la ofrece al menor precio de mercado por factores de 10 a 50%. ¿Cómo? A través del viejo truco de comprar cuando es barata, almacenarla y venderla cuando su precio aumenta.

El virtuoso ciclo de talento y dinero de Silicon Valley entra en juego una vez más. Jigar Shah, quien creó el concepto de “energía solar como un servicio” en 2008, vendió su compañía a MEMC por 200 millones de dólares de 2009¹⁷². Después

creó Carbon War Room, un centro de investigaciones no gubernamental y se convirtió en el más grande inversionista en un fondo de riesgo llamado Clean Feet Investors (CFI).

Stem anunció recientemente una ronda de inversiones de 5 millones de dólares llevada por CFI. Ellos no solo aprendieron del maestro, también obtuvieron su dinero.

¿Qué tan pronto llegará la ola disruptiva activada por el almacenamiento de electricidad en el sitio? En el capítulo 4 habló acerca de la evolución en los precios de las baterías de ion de litio para los vehículos eléctricos. Estas baterías también pueden ser utilizadas para almacenar electricidad en los hogares y negocios. Muchas otras tecnologías están siendo desarrolladas para esto, pero se utilizarán las baterías de ion de litio para mostrar su evolución de costos y los impactos de esto sobre el mercado (véase Cuadro 3.1).

Costo de Compra del Sistema de Almacenamiento de la batería (\$/kWh) ->			\$600	\$500	\$300	\$200	\$100	\$50
	Horas	kWh	Costo mensual de almacenamiento					
Respuesta a la Demanda	1	1.15	\$4.6	\$3.8	\$2.2	\$1.5	\$0.8	\$0.4
Evitar horas punta, comprar barato y cambiar uso	4	5	\$18.4	\$15.3	\$9.2	\$6.1	\$3.1	\$1.5
Almacenar toda la energía solar autogenerada	8	10	\$36.8	\$30.7	\$18.4	\$12.3	\$6.1	\$3.1
Autosuficiencia	16	20	\$73.6	\$61.3	\$36.8	\$24.5	\$12.3	\$6.1
Fuera de la red	24	30	\$110.4	\$92.0	\$55.2	\$36.8	\$18.4	\$9.2

Cuadro 3.1: Costo de capital de la baterías de ion de litio Vs. costo nivelado de almacenamiento

En el futuro, los usuarios almacenarán algo de la energía que usan en su consumo residencial, comercial o industrial. Almacenar la energía en el punto donde será utilizada brinda varios beneficios. Por un mínimo, alguien que almacena el equivalente a unas horas de su demanda energética puede comprar electricidad (de un panel solar o de la red) cuando los costos sean bajos para usarlos cuando los costos de la electricidad son altos. Esto ayudaría a evitar los costos de las horas picos. Esto puede representar cientos de dólares al mes en épocas de verano cuando se presenta el mayor consumo energético.

El usuario residencial promedio consume cerca de 903 kWh de electricidad, un poco más de 30 kWh al mes¹⁷³. En función de almacenar energía para unas horas de uso, un dueño de hogar tendría que adquirir un sistema de almacenamiento con 5 kWh de capacidad. Actualmente, las baterías de ion de litio más los dispositivos electrónicos para gestionarlas tienen un valor de \$600 por kWh, haciendo que el costo de capital para un sistema de 5 kWh sea de \$3.000. Asumiendo que un

hipotético usuario financiara los \$3.000 con una tasa de interés del 4% a veinte años. El pago mensual por este sistema (costo nivelado de almacenamiento) de \$18. Dependiendo del tamaño de la factura eléctrica mensual, un sistema como este podría pagarse por sí solo en solo unos meses de verano. Después de esto, para los usuarios solo quedan ahorros; mientras que para las empresas de servicios, es una pérdida de ganancias durante las horas pico.

Ahora, asumiendo que el mismo usuario hipotético decide almacenar un tercio de su requerimiento energético diario (10 kWh). El costo mensual sería de \$36,80. Este usuario percibiría los beneficios de comprar energía en sus niveles más bajos de costos más el exceso de la producción de su sistema de generación de energía solar. El usuario podría incluso generar dinero cuando las empresas eléctricas ejecutan programas de respuesta a la demanda (este usuario recibiría pagos por no consumir electricidad proveniente de la red en periodos pico).

Para usuarios que generan y consumen sustancialmente solo su propia energía, solo se hace necesario almacenar 20 kWh. El costo capital para este sistema a \$600 por kWh sería de \$12.000, o un costo mensual de almacenamiento de \$110,40.

Sin embargo los costos de las baterías de ion de litio están disminuyendo. El consenso actual es que los costos de estas baterías llegaran al rango de 200 a \$250 por kWh en 2020. Considerando \$250 por kWh, el usuario podría no pagar los precios pico de \$7,70 al mes. Un usuario podría, por cerca de \$15,30 al mes, tener ocho horas de almacenamiento para utilizar energía solar y pagar así por los precios de la energía durante las horas pico además de participar en programas de respuesta a la demanda.

Como las empresas de servicios siguen los lineamientos de Edison Electric Institute y aumentan las tarifas de sus servicios, y se resisten a comprar el exceso de generación de energía solar de los usuarios, están empujando a los usuarios a la energía solar y a invertir en sistemas de almacenamiento.

Rocky Mountain Power de Utah recientemente le preguntó a su comisión de servicios eléctricos la posibilidad de aprobar un pago mínimo mensual de \$15, una tarifa mensual por usuario de \$8 y una tarifa mensual para los usuarios de energía solar de \$4,25. Esto representa una factura mínima mensual de \$27,25 además del uso real¹⁷⁴. Tarifas como esta hacen más rentables los sistemas de almacenamiento de energía en el sitio. A \$600 por kWh costaría \$18 por mes, tener cuatro horas de energía almacenada a partir del exceso de generación de las instalaciones de energía solar. Se espera que para 2020 este número caiga a \$7,70. La energía solar no solo generará electricidad más barata que las empresas

de servicios, también hará que sea más rentable para los usuarios almacenar energía en el sitio que compartirla con la red eléctrica.

Para 2025 costará \$12,30 por mes tener un sistema de almacenamiento en el sitio de 20 kWh. Para el consumidor promedio estadounidense esto representa dos tercios de su consumo diario. Cincuenta o sesenta millones de estadounidenses tendrán la posibilidad de generar toda su electricidad a partir la energía solar, además tendrán la posibilidad de almacenar la energía que no utilicen al momento de la generación para utilizarla el otro momento del día. Por solo \$18,30 al mes almacenarán suficiente energía para dejar de usar la red tradicional.

Inventando nuevas tarifas, aumentando las tarifas actuales y aumentando los precios de la energía, las empresas de servicios están aumentando su flujo de capital a corto plazo a expensas de su propia supervivencia. Incrementando el precio de sus servicios en un momento en que el precio de la energía solar está cayendo de forma dramática y los costos del almacenamiento de energía en el sitio están haciéndose competitivos, las empresas de servicios están acelerando la adopción de estas tecnologías por parte de los usuarios. Las empresas de servicios están ayudando a que su momento kodak llegue con más rapidez.

Kodak: Un Ejemplo para las Empresas Eléctricas

El modelo de negocios de la centenaria industria energética es en esencia obsoleto. La siempre creciente penetración de la energía solar y los siempre decrecientes costos de la energía distribuida ya han comenzado a afectar el modelo de negocios monopólico y centralizado de la industria energética.

Es tentador pensar que las empresas de servicios son como Kodak observando a la fotografía digital erosionar su negocio. La historia de Kodak es un clásico de la disrupción, pero no se deben confundir las historias de disrupción con las de gerencia ineficaz.

Kodak prácticamente inventó las cámaras digitales. La compañía invirtió billones de tecnología de imágenes digitales por décadas. Por ejemplo, en 1986 Kodak inventó el primer sensor de megapíxeles (1,4 millones de píxeles) que podía generar una fotografía de 5x7 pulgadas de alta calidad¹⁷⁵. El siguiente año Kodak lanzó siete productos para grabar, almacenar, manipular, transmitir e imprimir imágenes de video electrónico.

En 1991, Kodak llevó al mercado la primera cámara digital para reporteros del mundo. Era una cámara Nikon F-3 equipada por Kodak con un sensor de 1,3 megapíxeles. Para 2001, Kodak había invertido 5 billones en investigación y desarrollo. Esta contaba con más de mil patentes en tecnología de imágenes digitales.

En 2001, la CEO de Kodak Patricia Russo dijo “Kodak debe ir más allá de la fotografía para capturar la mayor parte de lo que se prevé será un mercado de 225 billones de dólares para las llamadas info-imágenes, un mundo donde los datos, el audio y las imágenes convergen. Kodak está a punto de dominar este mercado”.

Kodak tenía la tecnología, conocía el mercado y tenía una marca que era sinónimo de fotografía. Aun así Kodak no pudo reaccionar ante los cambios del mercado. ¿Por qué? Por tenía un antiguo modelo de negocios en su ADN. Ellos creían que los usuarios que compraron cámaras estaban enganchados a una película; que tenían que seguir comprando películas por el resto de sus vidas. Cada vez que una fotografía era tomada Kodak ganaba dinero. Las películas fotográficas eran una gallina de huevos de oro.

El modelo de negocios era diferente para las cámaras digitales. En este modelo, después de que la cámara es vendida, el proveedor básicamente sale del juego. Para el consumidor el único precio a considerar, es el precio propio de la cámara. El costo marginal de generar, procesar, transmitir o consumir fotografías es básicamente cero.

Aun cuando Kodak quiso adaptarse a la fotografía digital no pudo hacerlo. El ADN de su modelo de negocios, no se lo permitió. En un punto incluso desarrollaron un producto híbrido que combinaba la fotografía digital y las películas fotográficas; una tecnología que reunía todo lo precedente. Kodak esperaba mantener su modelo de negocios a cualquier costo. Pero sus estrategias no dieron resultados positivos.

Una vez que la transición de la fotografía con película a la fotografía digital comenzó en serio, todo ocurrió rápidamente. Solo tomó una década para que Kodak pasara de ser líder de la industria a buscar como escapar de la quiebra.

Se pueden sustituir las palabras “cámaras digitales” y “fotografía” por “energía solar” y “electricidad” y se puede entender el patrón. Muchos ejecutivos de la industria energética saben que la disrupción se está acercando. Sin embargo su adicción a flujos de capital no les permite abandonar su modelo de negocios actual, pero mientras más aumentan su flujo de capital a corto plazo, más aceleran su disrupción.

La Picazón de Veinte Años: Cómo la Energía Solar Supera la Generación Tradicional

El 24 de junio de 2004, El Opportunity Rover de la NASA aterrizó en Marte para lo que se esperaba que fuera una misión de exploración de tres meses (véase Figura 3.10)¹⁷⁶. La NASA esperaba que el rover se trasladara por un kilómetro (0,6 millas) antes de que los paneles solares que lo alimentaban quedarán cubiertos de polvo y no pudieran generar la energía requerida por el vehículo y sus instrumentos de laboratorio¹⁷⁷. En vez de tres meses y un kilómetro, los paneles solares funcionaron por diez años y 38,7 kilómetros (24 millas). En este camino, el vehículo tomó más de 170.000 fotografías y las transmitió a la tierra, lo que representa un viaje de aproximadamente 255 millones de kilómetros¹⁷⁸. Pareciera que el potencial de la energía solar ha sido siempre subestimado.



Figura 3.10: El Opportunity Rover de la NASA en Marte (Foto: NASA)¹⁷⁹

En contraste con la energía solar, los combustibles fósiles y nucleares son tóxicos y corrosivos, las plantas térmicas de energía sufren daños irreparables luego de cuarenta años de operación. A menudo, durante sus cuatro décadas de funcionamiento se deben hacer paradas de planta con meses o años de duración para realizar tareas de mantenimiento o reparación. Dado que la actual flota de plantas nucleares o de carbón se está haciendo más vieja e ineficiente, se hace cada vez más costoso su operación y mantenimiento; estas se hacen menos competitivas progresivamente. Un reporte presentado por el banco de inversiones Credit Suisse indica que los días de parada en las plantas nucleares han crecido

significativamente, necesiándose más cantidades de capital para reparaciones y mejoras (véase Capítulo 6).

Los paneles solares que alimentaron al Opportunity Rover estaban proyectados para durar tres meses porque las condiciones de Marte son brutales: temperaturas extremas, radiación, tormentas de polvo, y otras cosas por el estilo. Aun así, por diez años los paneles solares del vehículo generaron energía suficiente para mantenerlo funcionando. Estos paneles duraron cuarenta veces lo que se esperaba originalmente. Y aún lo siguen haciendo.

En la Tierra, la producción de los paneles solares fotovoltaicos sobre los techos no disminuye prácticamente nada después de veinte años de operación. Si bien año tras año los paneles solares pierden eficiencia, esto es prácticamente imperceptible en los registros anuales. Se estima que la pérdida de eficiencia es cercana al 0,5% anual, de manera que luego de veinte años las instalaciones solares producen 90% de lo generado al momento de su instalación. Para ese momento, luego de veinte años los paneles solares ya habrían pagado su propia hipoteca. Después de veinte años, esos paneles estarían generando electricidad completamente gratuita. Para toda la vida. Solamente es necesario cambiar los transformadores cada diez años, fuera de esto las instalaciones de energía solar son máquinas para producir dinero.

Alemania, que comenzó su programa de energía solar en el 2000, tendrá una producción de varios gigavatios a partir de energía solar operando de forma gratuita para el 2020. Las instalaciones de energía solar conectadas en el 2010 comenzarán a hacerlo en el 2030 y así sucesivamente. Qué pasará después del 2040 o el 2050 cuando la mayoría de las instalaciones de energía solar estarán trabajando de forma gratuita en Alemania. El país tendrá los costos energéticos más bajos del mundo.

El Imperio Contrataca: David contra Goliat en California

California es catalogada por tener una caótica y desordenada democracia directa¹⁸⁰. Las votaciones incluyen referéndums mediante los cuales los votantes pueden rechazar actos de la legislatura o iniciativas por medio de las cuales los votantes pueden escribir sus propias leyes. El sistema político de California, como en muchos otros lugares, ha sido secuestrado por cabilderos y grupos con intereses especiales que persiguen sus objetivos en las elecciones pretendiendo que estos son de interés público.

Las elecciones de Junio de 2010 incluían la Propuesta 16, una iniciativa llamada “nuevo requisito legal de dos tercios para proveedores eléctricos locales” de acuerdo a BallotPedia¹⁸¹:

Si la proposición 16 hubiese aprobada por los electores habría hecho necesario el voto de dos tercios del electorado ante un organismo público para que un nuevo ente pudiese entrar en el negocio de la energía al por menor. Esto habría hecho que para las entidades locales fuera más difícil de lo que es actualmente formar parte de los servicios eléctricos municipales o de los distritos de energía limpia.

Pacific Gas & Electric quiso parar el tren de la energía distribuida, participativa y generada de forma local. La directiva de PG&E, la empresa de servicios más grande de Estados Unidos, aprobó unos fondos de guerra de 35 millones de dólares para apoyar esta iniciativa.

De acuerdo con el antiguo Comisionado de Energía de California, John Geesman, los principales objetivos de esta iniciativa; gobiernos locales, distritos de irrigación y empresas de servicios municipales, recibieron una prohibición para utilizar dinero para oponerse a esta¹⁸².

A pesar de esto, existieron marejadas de oposición a la Propuesta 16 y a PG&E. Más de 38 periódicos a lo largo de todo el estado publicaron artículos oponiéndose a lo que catalogaban como una “toma de poder”. Cuarenta ciudades y diez cámaras de comercio también se opusieron públicamente. En su campaña publicitaria llamó a su causa “Contribuyentes por el derecho a votar”, un llamado que pretendía hacer ver que la Propuesta 16 era “por el derecho a votar”.¹⁸³

PG&E termino gastando 46,1 millones de dólares en la Propuesta 16 contra los \$100.000 invertidos por todos los oponentes de esta¹⁸⁴. A pesar de esa diferencia de 461 a 1 en el gasto de la campaña, 53 % de los electores de California votaron en contra de la Propuesta 16.

La Propuesta 16 fue solo un ejemplo de cómo las empresas de servicios viéndose al borde de la disrupción, pelean para mantener sus cómodos monopolios. Las empresas de servicios en California, otros estados y otros países, saben que la mejor forma de mantener sus flujos de capital es a la vieja escuela; tras las puertas cerradas de las legislaturas, comisiones eléctricas y cuerpos de regulación.

El Imperio Contrataca de Nuevo: La Toma del Sol

Considere que su compañía de telefonía fija local (consideremos a Ma Bell) quisiera colocar una tarifa adicional a los usuarios simplemente por tener un teléfono celular. Imagine recibir este email de Ma Bell:

Querido [Espacio para el Nombre]: nos hemos percatado de que posee un nuevo celular. Cuando utiliza su nuevo teléfono celular, nosotros obtenemos menos dinero de nuestra infraestructura obsoleta. Necesitamos compensar esto mediante la implementación de nuevas tarifas por nuestros servicios. Ciertamente, podríamos invertir dinero para actualizar nuestros servicios y ofrecer así productos apreciados por nuestros clientes, pero como manejamos un monopolio, no tenemos que hacerlo. Preferimos añadir una tarifa de \$50 mensuales a los poseedores de celulares. Nosotros apreciamos su dinero. Usted entenderá que estamos abogando por los millones de personas que no tienen un celular. Por ejemplo, nuestro CEO solo gana 11,4 millones al año, nuestro CNO 9,1 millones y nuestro COO 5,4 millones¹⁸⁵. De tal manera, hemos pedido al regulador eléctrico la instauración de esta tarifa. Para más información haga click aquí.

Seguramente usted pensaría que el email es un engaño y lo borraría. Aun pensando que el email proviene de la empresa de telefonía, pensaría que ninguna agencia gubernamental lo permitiría.

Sin embargo en el campo de la energía. Sustituyendo la palabra “celular” por “energía solar” se tiene que es un escenario que se está presentado a lo largo de todo Estados Unidos.

En Arizona, El servicio público de ese estado, pidió a la comisión eléctrica estatal el permiso para cobrar una tarifa de \$50 a los usuarios de energía solar que comparan menos energía de la red que la proveniente de las instalaciones de energía solar.

Habiendo visto cómo el teléfono celular rápidamente convirtió la telefonía fija en obsoleta, las empresas de servicios quieren actuar en dos frentes: seguir alimentando su infraestructura obsoleta a través de su monopolio energético y al mismo tiempo usar leyes para beneficiarse de la transición hacia la energía distribuida colocando impuestos sobre esta.

Se podría pensar que la comisión para los servicios públicos en Arizona, cuya misión es tomar decisiones en favor del interés público¹⁸⁶ se habría reído de la proposición del servicio público. Pero nada más alejado de la realidad. El 19 de noviembre de 2013, esta comisión concedió el permiso de cobrar una tarifa de \$4,95 al mes a usuarios con paneles solares en sus techos. De manera que mientras más instalaciones solares existan, mayores ingresos tendrán el servicio público¹⁸⁷.

Este fallo a favor de las empresas de servicios podría haber dejado la puerta abierta para fallos similares en otras industrias. ¿Está usted utilizando Netflix o YouTube? El servicio de cable local requiere una tarifa mensual de \$4,95 por no estar utilizando sus cables de cobre. ¿Está utilizando un vehículo eléctrico? Las compañías petroleras quieren \$4,95 al mes por no estar utilizando sus tuberías. ¿Cocina usted con una hornilla eléctrica? Las compañías de gas natural le cargarán \$4,95 al mes por no llevar gas a su casa.

Cuidado con esa antigua compañía de telégrafos buscando su porción en este escenario.

Capítulo 4:

La Disrupción de los Vehículos Eléctricos

“No creo que la aparición de los vehículos a gasolina llegue a afectar a la industria de los caballos”

Scott Montague, Primer Ministro del Reino Unido, 1903

“Los cambios tecnológicos de los próximos 20 años serán equivalentes a los de los últimos 100 años”

Ray Kurzweil

“La mejor manera de predecir el futuro es construirlo”

Alan Kay

El 11 de noviembre de 2013, la revista Motor Trend anunció el ganador del carro del año de 2013. El ganador fue el modelo Tesla S¹⁸⁸.

Una compañía que ni siquiera existía hace diez años construyó el primer vehículo eléctrico que ganó este premio¹⁸⁹. Tesla es en sí misma una compañía de computación de Silicon Valley, con un espíritu más similar al de Google o Apple que al de sus antepasados de Detroit. Elon Musk, CEO de Tesla, nunca negó la posibilidad de que su compañía fuese adquirida por otra con “bolsillos profundos” como Apple.¹⁹⁰

Los premios son una cosa, pero a la hora de la verdad, las unidades vendidas son lo que importa en la industria automotriz. Cuando fueron publicadas las cifras del mercado para el segundo cuarto de 2013, de acuerdo con Green Car Reports Tesla había superado en ventas a Mercedes Benz, BMW y Audi en la categoría de “alto lujo”¹⁹¹.

En 2012, Tesla solo vendió 4.750 carros (una tasa anualizada de 19.000 unidades) en una industria que vendió 82 millones de unidades¹⁹². Esta es una pequeña cantidad de carros en una categoría pequeña de carros, de manera que la mayoría de los ejecutivos de la industria automotriz no pierden el sueño por culpa de los de Silicon Valley.

Pero muy pronto las acciones de Tesla se cuadruplicaron dándole una valoración de mercado de 17 billones de dólares, más acorde con una compañía de alta tecnología de Silicon Valley que con una compañía automotriz de Detroit. Tesla tiene unas ganancias que son equivalentes al 1% de las de Ford, pero un cuarto de su capitalización de mercado de 68 billones de dólares y un tercio de la de General Motors de 51 millones de dólares.¹⁹³

El CEO de General Motors, Dan Akerson, puntualmente “ordenó a un equipo de empleados de GM para estudiar a Tesla y las formas en las que esta podría afectar el actual modelo de negocios”¹⁹⁴. ¿Cómo podría Tesla sustituir la industria automotriz mundial de 4 trillones de dólares?

Nueve Razones por las que el Vehículo Eléctrico es Disruptivo

El CEO de General Motors Dan Akerson tuvo mucho de qué preocuparse. Poco después de que sus acciones se cuadruplicaron, el Modelo S de Tesla alcanzó las más altas valoraciones de seguridad que algún carro hay obtenido de parte de la

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)¹⁹⁵. Después Customers Reports declaró al Modelo S de Tesla el mejor carro alguna vez probado¹⁹⁶.

Cuando entré al SF Auto Show el 2 de diciembre de 2013, pensé en lo poco que ha cambiado la industria automotriz en un siglo. Después de apreciar uno de los últimos modelos exhibidos como el BMW 950 y el Audi R8, fui a la sección del “museo” donde estaban bellezas como el Hispano-Suiza H6C de 1928, el Copue Convertible Cord L29 de 1931 y mi “viejito” favorito de show el Lagonda LG45 Touring Rapide.

El Lagonda LG45T Touring Rapide era impulsado por un motor con 6 cilindros de alta compresión con válvulas a la cabeza y una capacidad de 4,5 litros. Con doble carburador acoplado a una transmisión manual de cuatro velocidades. Estaba exhibido en la sección de museo del SF Auto Show, pero se parecía mucho a los últimos modelos de Buick, Volkswagen, Toyota y Kia. Al observar el VVT DI 2014 de Buick, con motor de 3,6 litros (véase Figura 4.1) resulta obvio que el motor de combustión interna de los automóviles no ha cambiado mucho desde que el motor Lagonda LG45T fue presentado hace ocho décadas.



Figura 4.1: El motor de combustión interna (Foto: Tony Seba)

El 10 de diciembre de 2013, la junta directiva de General Motors anunció que había seleccionado a su jefe de desarrollo de productos a Mary Barra, un veterano con 33 años en la empresa, como su nuevo CEO¹⁹⁷.

Perder sus trabajos es solo una de las razones por las que Barra y otros directivos de la industria automotriz deberían perder el sueño. La industria

automotriz basada en el motor de combustión interna (de gasolina o diésel) es el equivalente a la industria de los caballos y carretas de hace un siglo. El vehículo eléctrico sustituirá la industria de los vehículos a gasolina (y con esto a la industria petrolera) rápida y permanentemente.

Existen muchas razones por las que los vehículos eléctricos son disruptivos. La disrupción del mercado hará que pronto los vehículos con motores de combustión interna (a gasolina o diésel) sean cosa del pasado. Aun peor para la industria tradicional, es que los vehículos eléctricos no son solo una tecnología disruptiva, todo el modelo de negocios detrás de la industria automotriz será borrado.

El SF Auto Show del año 2030 será un poco diferente del su versión del año 2013. Inclusive los impresionantes BMW 950 y Audi R8 serán equivalentes a hermosas carretas para caballos.

1. El Motor Eléctrico es Cinco Veces Más Eficiente

De los principales usos energéticos de Estados Unidos, el sector del transporte es el más derrochador. Un 79% de la energía del petróleo usada en el transporte se transforma en humo (véase Figura 4.2). En promedio solo el 21% de la gasolina o el diésel (ambas provenientes del petróleo) bombeada dentro de un motor de combustión interna se transforma en energía.

Ciertamente, tal y como lo indican las compañías automotrices, el rendimiento del motor variará dependiendo de las condiciones de operación, las condiciones del motor, si se está manejando en las calles de una ciudad o en una autopista y otros factores. Pero los números hablan por sí solos y la conclusión es clara: Los motores de combustión interna son inherentemente ineficientes.

De acuerdo al departamento de energía estadounidense, cuando se consideran tanto el manejo por las calles de las ciudades como por las autopistas para un vehículo promedio en Estados Unidos, solo el 17 a 21% de la energía contenida en la gasolina es utilizada para dar movimiento a las ruedas de los vehículos. Un siglo de conocimientos obtenido gracias a la construcción de billones de carros y haber invertido cientos de millones de dólares en investigación y desarrollo han dado a los motores de combustión interna una eficiencia de aproximadamente 21%.

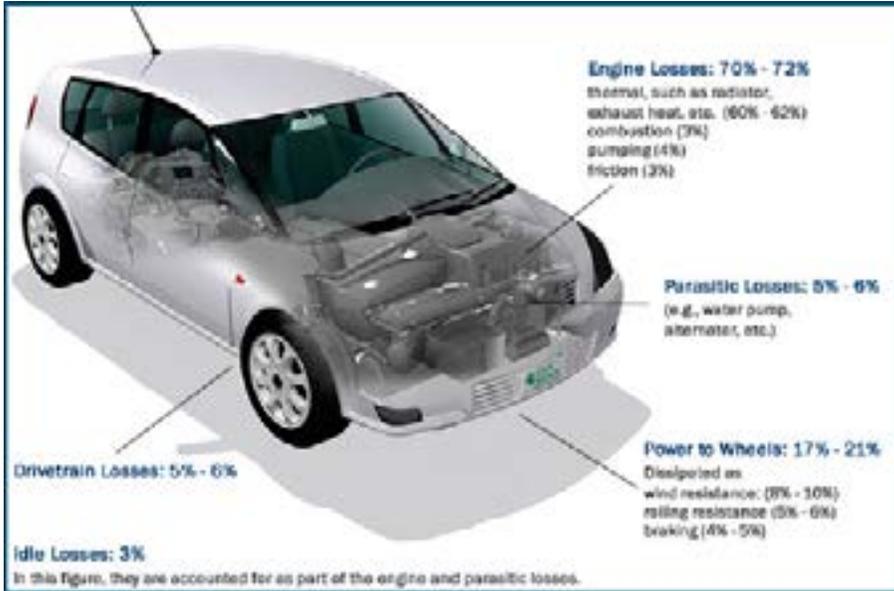


Figura 4.2: Economía del combustible: ¿A dónde va la energía?
 (Fuente: Departamento de Energía de Estados Unidos)¹⁹⁸

¿Puede los fabricantes de carros convencionales de Detroit, Múnich y Japón construir motores más eficientes? Por supuesto. Ellos pueden hacer muchas mejoras, sin embargo las leyes de la física se atravesarán en su camino.

Los motores de combustión son máquinas térmicas y como tales, están sujetas a las leyes de la termodinámica. Específicamente, están sujetas a la ley de la máxima eficiencia térmica, la frontera que limita cuanta energía calórica puede ser transformada en trabajo. Los motores de gasolina tienen un límite superior de 25 o 30% de eficiencia cuando son usados para accionar un vehículo¹⁹⁹. Eso significa que incluso en su límite teórico de eficiencia los motores de combustión desperdiciarían de 70 a 75% de la energía del combustible.

¿Cómo se compara esto con los motores eléctricos? Se debe comenzar considerando todo lo que no tienen los motores eléctricos: radiadores, pistones, tubos de escape, manivelas, cigüeñales, bombas y muchos otros componentes necesarios para los motores térmicos que desperdician mucha energía (véase Figura 4.2).

Un motor eléctrico tiene una eficiencia para la conversión de la energía de hasta 99,99%²⁰⁰. El vehículo eléctrico de primera generación de Tesla, el Roadster, tenía una eficiencia total de 88%²⁰¹. Esto representa cuatro o cinco veces más eficiencia que la de un vehículo con motor a combustión interna promedio. Los vehículos eléctricos no solo proporcionan una marcha más suave, sino que además es mucho más eficiente desde el punto de vista energético.

¿Pueden las empresas automotrices diseñar un motor de combustión interna tan eficiente como los motores eléctricos? En una sola palabra: no. Las leyes de la termodinámica no lo permiten. Por esto para mejorar la eficiencia de sus vehículos las empresas en Detroit están utilizando baterías y motores eléctricos.

Dado que el motor de combustión interna es una máquina térmica, se necesita aumentar la temperatura del motor para poder así incrementar la eficiencia en la conversión de la energía. Incluso las plantas a base de carbón y elementos nucleares, que alcanzan temperaturas mucho más altas, desperdician dos tercios del potencial energético de sus combustibles.

Para tener una idea de lo eficientes que son los vehículos eléctricos, El Modelo S de Tesla es más eficiente energéticamente que las grandes plantas nucleares y de carbón que costaron billones de dólares.

2. El Vehículo Eléctrico es Diez Veces Más Barato de Cargar

Llenar el tanque de un Jeep Liberty por cinco años cuesta \$15.000; o \$3.000 anuales, de acuerdo con Consumer Reports²⁰². Eso bajo el supuesto de que se conducen 12.000 millas al año. Manejar 12.000 millas en un Modelo S de Tesla, costaría \$313.

Acá se presenta un cálculo rápido: el Roadster puede desplazarse 4,6 millas por kWh. El precio promedio de la electricidad en Estados Unidos de acuerdo al Departamento de Energía es de 12 ¢/kWh. Por lo tanto $(12.000 \text{ millas} * 0,12 \text{ \$/kWh}) / 4,6 \text{ millas/kWh} = 313,04\text{\$}$.

Alimentar un Jeep Liberty eléctrico (si existiese) por cinco años, costaría \$1.565 en energía eléctrica, mientras que el Jeep Liberty real necesita \$15.000 en gasolina.

Alimentar un vehículo eléctrico es diez veces más económico que alimentar un vehículo con motor de combustión por dos razones:

- Los motores eléctricos son cuatro veces más eficientes que los motores de combustión interna
- La gasolina es de dos a tres veces más costosa por unidad que la electricidad.

Los costos de la gasolina varían ampliamente a lo largo de Estados Unidos y del mundo entero. Esto hace variar los cálculos para cada caso particular, como le gusta recalcar a la industria automotriz, pero para tener una idea general, un vehículo eléctrico permite ahorrar cerca de 90% en costos de combustible al año comparado con un vehículo a gasolina.

Este ahorro que se puede conseguir es equivalente a dos años de matrícula en la Universidad de Florida²⁰³. Entonces muchas familias pronto comenzarán a preguntarse ¿Seguimos quemando esos dólares en gasolina o compramos un vehículo eléctrico y enviamos a los niños a la universidad?

3. El Vehículo Eléctrico es Diez Veces Más Barato de Mantener

Los vehículos convencionales necesitan cambios de aceite cada vez que recorren 3 o 5 mil millas. No hay necesidad de esto para los vehículos eléctricos. Pero no es solo los cambios de aceite lo que hace superior a los vehículos eléctricos.

Dado que los vehículos eléctricos son accionados por motores eléctricos, estos no precisan ninguna de las partes asociada a la combustión: no hay bujías, alternadores, motores de arranque, inyectores, cámaras de combustión, pistones, cilindros, filtros o escapes. El vehículo eléctrico no tiene cigüeñales, correas del tiempo o convertidores catalíticos. Dado que los vehículos eléctricos tienen menos partes, sus necesidades de mantenimiento son muchísimo menores que las de los vehículos con motor de combustión. Además menos partes necesitan ser soportadas por el chasis (véase Figura 4.3).

La información es un poco limitada, pero es prudente decir que los vehículos eléctricos requieren 90% menos reparaciones y mantenimiento que los vehículos que trabajan con gasolina o diésel. En consecuencia los vehículos eléctricos gastan 90% menos dinero durante su ciclo de vida.



Figura 4.3: El chasis del Tesla Roadster (Foto © Tony Seba)

4. El Vehículo Eléctrico es Diez Veces Más Barato de Mantener

En 2010 había 257.576 estaciones para reparaciones de vehículos ligeros en Estados Unidos²⁰⁴. Estas tiendas estaban divididas de la siguiente manera: 3.978 tiendas por departamentos con prestación de servicios, 16.800 estaciones de reparación de concesionarios, 77.674 estaciones de reparación en general. Estas estaciones realizaron toda clase de labores de mantenimiento en los cerca de 250 millones de vehículos ligeros que circulan por Estados Unidos.

Las ganancias totales postventa para la industria automotriz fueron de 83 billones de dólares en 2010 y se espera que lleguen a 98 billones de dólares en 2017 de acuerdo con Frost & Sullivan²⁰⁵. Los costos postventa incluyen reparación de componentes como el carburador, las bujías, los alternadores, los filtros y el escape.

¿Pero, adivinen? Los vehículos eléctricos no tienen ninguno de estos componentes ¿Recuerdan el cambio de aceite cada 3 o 5 mil millas? Tampoco aplica para los vehículos eléctricos.

Finalmente no es solo la tecnología lo que destruye la industria, es el hecho de que las compañías disruptivas tienen modelos de negocios contra los que las empresas tradicionales no pueden competir.

¿Recuerdan a Kodak? Ellos no solo perdieron las ventas de las películas fotográficas con la llegada de las cámaras digitales. También perdieron todo lo relacionado con las postventas: equipos, papel especial y químicos.

Las ganancias postventa son un componente esencial en el modelo de negocios de la industria automotriz tradicional. Los fabricantes de vehículos perciben 25,8 billones de dólares gracias a la cadena de suministros asociada a la postventa. El mercado postventa incluye herramientas eléctricas, cortadoras y equipo de gestión de fluidos²⁰⁶.

Lo fabricantes de vehículos no solo verán disminuida su venta de unidades, perderán gran parte de sus ganancias postventa. Ya no podrán vender herramientas o equipos para reparaciones ni piezas necesarias para estas.

El mercado postventa para los vehículos con motor de combustión colapsará. La sustitución de la industria automotriz estará completa.

5. Carga Inalámbrica

En Nueva York en 1891, Nikola Tesla públicamente mostró al mundo la primera transmisión inalámbrica de electricidad hecha mediante inducción electrostática²⁰⁷. Tesla inventó muchas tecnologías clave que soportan nuestra infraestructura eléctrica.

Adelantando 120 años rápidamente, se encontrarán buses eléctricos en Italia que son recargados en las paradas mientras los pasajeros suben y bajan (véase Figura 4.4)²⁰⁸. La industria de los vehículos eléctricos ha adoptado la tecnología de transmisión de energía por inducción (IPT, por sus siglas en inglés) de manera que los vehículos pueden ser cargados de forma inalámbrica sin la típica infraestructura para cargas.

Poder realizar cargas de esta manera es importante para buses que recorren la misma ruta y se detienen en los mismos lugares todos los días. En vez de una gran comida para el desayuno, estos buses tienen pequeños bocados eléctricos cientos de veces al día. La carga inalámbrica básicamente elimina las ataduras para los vehículos eléctricos. Dado que estos se recargan muchas veces al día, pueden utilizar baterías pequeñas. Un bus con una batería de 240 kWh que trabaje 18 horas al día puede recorrer la misma distancia que un bus con una batería de 120 kWh que es recargada por medio de carga inductiva, de acuerdo con Conductix-Wampfler, la empresa que fabrica los cargadores inductivos utilizados en Italia. Utilizar baterías pequeñas reduce los costos de funcionamiento de los buses en \$100.000 aproximadamente (con los costos actuales de las baterías).



Figura 4.4—Carga inalámbrica de un bus eléctrico (Fuente: Conductix-Wampfler)²⁰⁹

La misma tecnología utilizada para cargar los teléfonos celulares puede ser utilizada para cargar los vehículos eléctricos durante su marcha. General Motors ofrece tecnología de Powermat con algunos de sus vehículos de 2014. Powermat utiliza tecnología de transmisión inductiva para cargar smartphones de forma inalámbrica. Podría usar algún día GM esta misma tecnología para cargar sus carros eléctricos²¹⁰.

Piense en los potenciales nuevos negocios que la tecnología de transmisión por inducción puede generar. En vez de grandes vehículos de FedEx y UPS ocupando múltiples puestos de estacionamiento o bloqueando las calles, estos podrían estacionar en puestos de carga inductiva mientras el conductor entrega los paquetes. El tráfico se hará más suave, alguien hará dinero vendiendo electricidad a FedEx y UPS y estas ahorran dinero haciendo uso de vehículos con baterías pequeñas.

6. Los Vehículos Eléctricos Tienen Arquitectura y Diseño Modular

La arquitectura estándar de los vehículos consiste en un motor que mueve dos o cuatro ruedas a través de una combinación de transmisiones, un tren diferencia y ejes de accionamiento. La primera generación de vehículos eléctricos utilizó esta misma arquitectura. Sin embargo, a medida que los fabricantes ganaron confianza en sus procesos de ingeniería, comenzaron a aprovechar una potencial ventaja de los vehículos eléctricos contra la que no pueden competir los vehículos tradicionales: la modularidad.

El Modelo 3 de Tesla y el Audi e-Tron Allroad contarán con dos motores eléctricos; una unidad trasera para accionar las ruedas traseras y otra delantera para las ruedas delanteras (véase Figura 4.5).

Tal como un procesador Intel con arquitectura de varios núcleos, esta modularidad permite aumentar la potencia, mayor flexibilidad en los diseños y mayor control en la tracción. Además también brinda una mayor seguridad. Los vehículos eléctricos también son mucho más duraderos que los de motor de combustión. Adicionalmente, si uno de los dos motores deja de funcionar, esto no significa que el vehículo deje de hacerlo. El segundo motor aún podría accionar el vehículo. Igualmente se tiene que podrían colocarse cuatro motores, uno para cada una de las ruedas.

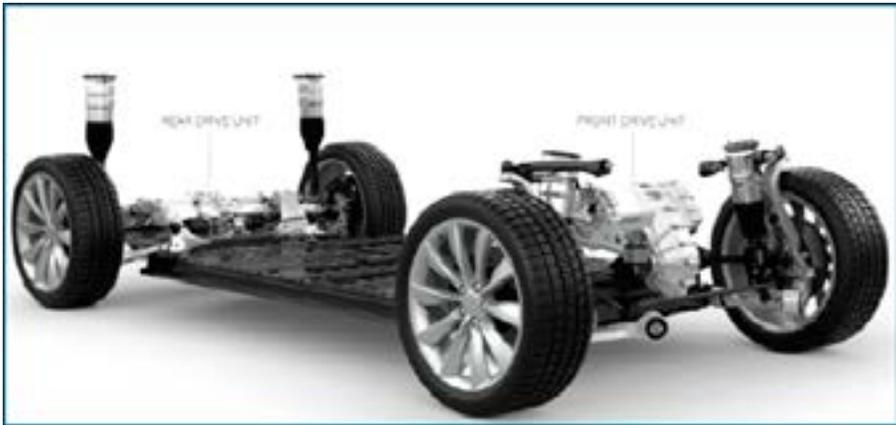


Figura 4.5: Modelo 3 de Tesla con motor dual (Fuente: Tesla Motor)²¹¹

Un equipo del MIT dirigido por el profesor William J. Mitchell creó una nueva tecnología conocida como ruedas robot²¹². Cada rueda robot está acoplada a un motor de accionamiento eléctrico, un motor de dirección, y a sistemas de suspensión y frenado. Un carro diseñado con cuatro de estas ruedas robot tiene un nivel de flexibilidad que nunca podría ser alcanzado por vehículos comerciales a gasolina: un chasis que no es comprometido por la transmisión, cajas de engranajes o diferenciales.

Solo haría falta instalar sobre el chasis las cuatro ruedas, conectarlas a una batería (o dos, o cuatro) y controlarlas electrónicamente por medio de algunos cables.

Tener cuatro motores eléctricos independientes, permite mayor potencia, flexibilidad en el diseño y control en la tracción, de acuerdo con Masato Inoue, jefe de diseño de productos del vehículo eléctrico con mayores ventas del mundo,

el Nissan Leaf. Hablándole a mi clase de Stanford, Inoue mostró como el Pivo 3, un carro de concepto de Nissan, podría estacionar de lado, girando sus ruedas 90 grados (para un video del Pivo 3, visite http://youtu.be/J2Ruxm_JdCU).

Las posibilidades de diseño son infinitas. El vehículo con motor de combustión nunca podría competir con esto.

7. Big Data y Rápido Desarrollo de Productos

Para junio de 2013, los Tesla Roadsters habían rodado en conjunto 30 millones de millas, los 11.000 Modelo S que estaban en las calles habían rodado otras 30 millones de millas. Es decir, los carros de Tesla habían rodado 60 millones de millas (100 millones de kilómetros)²¹³.

¿Y qué pasa? Los carros de GM han rodado trillones de kilómetros. ¿Realmente necesitan preocuparse los fabricantes de Detroit?

La diferencia entre las millas recorridas por los vehículos de Tesla y las de GM tiene que ver con los datos. Considere a los vehículos eléctricos como a computadores móviles. Los vehículos eléctricos generan grandes cantidades de datos. Una compañía de vehículos tamizando adecuadamente estos datos, pueden aprender y adaptarse más rápidamente que una compañía sin acceso a estos datos. Una compañía automotriz que recolecta datos acerca de sus carros, puede entender los patrones de uso de sus clientes y las fallas tecnológicas presentes. Esta podría rápidamente corregir errores, descargar nuevos software para sus productos y desarrollar nuevos productos y servicios.

El proceso de desarrollo de los vehículos eléctricos se ve acortado; se asemeja a los ciclos de desarrollo ultra veloces de la industria computacional. Tesla y otras compañías de vehículos eléctricos se encontraran con ciclos de desarrollo de productos con los crecimientos exponenciales de la Ley de Moore; Detroit contará con ciclos de crecimiento lineales.

En Silicon Valley, ahora se hace necesario competir a velocidades más altas que las de la Ley de Moore. Considere, por ejemplo, Apple con su disruptivo iPhone. Cuando el CEO de Apple, Tim Cook, anunció el nuevo iPhone 5s en 2013, indicó que la unidad de procesamiento central (CPU) del iPhone había mejorado un factor de 40 veces desde su primera presentación en 2007²¹⁴. El CPU del iPhone ha mejorado a una tasa de 85% anual. En contraste, la ley de Moore palidece con un crecimiento anual de 41%. No hay duda de porque compañías como BlackBerry y Nokia han mordido el polvo. Ni siquiera la Ley de Moore no es suficientemente rápida para competir en el ultra competitivo mercado de los smartphones. El

iPhone de Apple casi duplica su capacidad año tras año mientras que algunos competidores tardan dos años para hacerlo.

Esto es lo que Detroit tiene en su contra. En el tiempo que le toma a Detroit desarrollar un nuevo vehículo a gasolina, Tesla puede desarrollar dos nuevas generaciones de vehículos eléctricos. Ninguna industria puede sobrevivir cuando su competidor tiene una ventaja de este tipo.

8. Los Vehículos Eléctricos y la Energía Solar son Cuatrocientas Veces Más Eficientes con Respecto al Uso de Tierras

Después del desastre petrolero de British Petroleum de 2010, me pregunté a cerca de la combinación de los vehículos eléctricos y la energía solar. En algún momento todos los carros serán eléctricos; en su mayoría accionados por energía solar y eólica ¿Qué pasaría si todos los vehículos en Estados Unidos fuesen eléctricos y alimentados con energía solar?

¿Cuánta superficie haría falta para generar la energía necesaria para alimentar todos los carros eléctricos de Estados Unidos? De acuerdo con el departamento de transporte de Estados Unidos los estadounidenses conducen cerca de 3 trillones de millas (4,8 trillones de kilómetros) al año²¹⁵. El Nissan Leaf, el vehículo eléctrico más vendido del mundo recorre 3,45 millas por cada kWh almacenado en su batería. Imagine construir una gran planta eléctrica en el desierto de California, Arizona o Nevada. ¿Qué tan grande debería ser para generar la energía consumida por todos los carros de Estados Unidos? La respuesta es: 875 millas cuadradas (2.226 kilómetros cuadrados). Esto es un cuadrado con 29 millas (46,6 kilómetros) de longitud en cada uno de sus lados.

Por supuesto, nadie construirá una planta solar así de grande. Para empezar, lo mejor sería generar la energía cerca de donde los carros la consumirán; sobre los techos de los edificios, en estacionamientos o en vertederos, por ejemplo. Las mil millas cuadradas solo dan una idea que la magnitud de la superficie requerida para cubrir esta demanda energética.

Considere que Wal-Mart espera cubrir 218 superficies cuadradas con instalaciones de energía solar para el año 2015²¹⁶. Wal-Mart por sí solo podría alimentar un cuarto de las millas recorridas por vehículos en los Estados Unidos.

La industria petrolera junto con la industria del gas alquila 143.000 millas cuadradas al gobierno de Estados Unidos para cubrir cerca de un tercio de las necesidades energéticas para el transporte (véase Capítulo 7). Multiplicando esto por tres,

se tiene que hacen falta 429 millas cuadradas para cubrir la demanda energética de todos los vehículos de Estados Unidos.

La combinación de energía solar con vehículos eléctricos, solo necesitaría 875 millas cuadradas, mientras que la combinación de petróleo y vehículos de combustión interna necesitaría 429.000 millas cuadradas para alimentar el recorrido de todos los vehículos de Estados Unidos.

La combinación de energía solar con vehículos eléctricos es 490 veces más eficiente en el uso de espacio que la industria convencional.

Una convergencia tecnológica (energía solar más vehículos eléctricos) que usa 400 veces menos recursos valiosos que la industria actual (petróleo más vehículos con motor de combustión) está destinada a ser disruptiva. Esto es especialmente cierto para recursos tan valiosos como la tierra y el agua. Es solo cuestión de tiempo para que la disrupción de los vehículos eléctricos se presente.

9. Los Vehículos Eléctricos Pueden Contribuir con la Red Eléctrica y Otros Servicios

Imagine que le pagan por tener un carro. Un reporte reciente de la comisión de servicios públicos de California concluyó que los dueños de vehículos eléctricos podrían percibir hasta \$100 mensuales por proveer electricidad a la red de distribución²¹⁷.

La integración del carro de gasolina a la infraestructura energética consiste en que estos vehículos llegan a la estación de servicio, llenan el tanque y pagan por esto. La energía fluye en un solo sentido (hacia el carro) y el dinero fluye en el sentido contrario (hacia las petroleras). Los vehículos eléctricos por su parte, pueden estar estrechamente vinculados a la red eléctrica y generar flujo de doble sentido tanto para la energía como para el dinero (véase Figura 4.6).

Los vehículos eléctricos no tienen únicamente que estacionarse y ser conectados a la red eléctrica. Estos pueden jugar un rol dinámico en la infraestructura de la energía al proveer beneficios útiles y económicos para la red eléctrica.

Un ejemplo de cómo los vehículos eléctricos pueden proveer beneficios para la red eléctrica se puede encontrar en la arquitectura del internet. Compañías como Skype se han hecho ampliamente exitosas usando tecnologías de comunicación de igual a igual o como son conocidas en inglés peer-to-peer (P2P). Cada computadora con una conexión a Skype se convierte en un participante activo contribuyendo con almacenaje, ancho de banda y poder de computo a la

red entera²¹⁸. Esta arquitectura descentralizada disminuyó los costos de hacer llamadas telefónicas para todos sus participantes. Una infraestructura grande y centralizada ya no fue necesaria para manejar el tráfico telefónico, de textos, de imágenes y de archivos.

Los vehículos eléctricos pueden tener un papel similar en la red eléctrica que el que tienen las computadoras en los sistemas P2P. Los vehículos eléctricos pueden almacenar energía cuando hay exceso de producción. Por ejemplo, la energía eólica es mayormente aprovechada en la noche y en los días fríos. En la mayoría de las economías industrializadas, la mayor parte de la energía se consume durante el día y el pico de demanda energética se presenta en los días más calurosos.



Figura 4.6: Estaciones de carga para vehículos eléctricos en las instalaciones de SAP en Palo Alto (Foto: Tony Seba)

Los vehículos eléctricos podrían entregar energía durante esos picos de demanda. Durante días calientes de verano, por ejemplo, estos podrían funcionar como proveedores eléctricos de acuerdo a la demanda. Dado que las empresas de servicios cobran mayor cantidad de dinero durante estos periodos, los dueños de vehículos eléctricos podrían percibir dinero por vender la energía que tienen almacenada en sus baterías. En mercados energéticos competitivos los dueños de vehículos eléctricos podrían participar en subastas de energía y venderla a la mejor oferta.

Percibir, por ejemplo \$100 mensuales por participar en la alimentación de la red eléctrica, cambiaría las ciencias económicas que están detrás de poseer un vehículo²¹⁹. Los carros pasarían de ser un ítem de solo consumo a una inversión generadora de dividendos.

¿Cuánto Tiempo Pasará hasta que la Disrupción se Presente?

El 30 de abril de 2013, el CEO de General Motor Dan Akerson indicó que el Chevy Volt de 2014, un vehículo híbrido, costaría entre 7.000 y \$10,000 menos en gastos de producción que el modelo anterior²²⁰. Este corte de 20% en el costo, se produjo en el momento en que GM había vendido cerca de 26.500 Volts.

El costo de los vehículos eléctricos está disminuyendo rápidamente, de la misma manera que el de los paneles solares fotovoltaicos. Los paneles solares tienen una curva de aprendizaje de 22%, lo que implica que históricamente, cada vez que su capacidad se ha duplicado los costos han disminuido en un 22%.

Las curvas de aprendizaje son parte integral de las industrias de manufactura. Básicamente, mientras más carros, paneles o computadores fabrica una compañía. Más eficientes se hacen y más baratos resulta la producción final.

En la industria automotriz, el supuesto es que el costo de las baterías debe bajar antes de que el precio de los vehículos eléctricos pueda alcanzar el precio de los vehículos con motores de combustión interna y competir en el mercado. Nada podría estar más alejado de la realidad.

Los teléfonos celulares nunca alcanzaron el precio de los teléfonos alámbricos y aun así se las arreglaron para sustituir esta industria. La última vez que consulte, un teléfono alámbrico costaba entre 10 y \$20, mientras que el iPhone de Apple costaba \$600. El celular es una reinención del viejo teléfono tradicional, no solo una sustitución. El teléfono celular tiene un valor agregado (movilidad, por ejemplo) que los teléfonos alámbricos no pueden igualar; el smartphone se ha transformado en el centro de nuestras vidas sociales.

La innovación que llevó a los teléfonos celulares a sustituir la industria de la telefonía tradicional en Estados Unidos fue una innovación en el modelo de negocios: el consumidor se compromete a un contrato de dos años de servicio y a cambio, el operador financia el teléfono durante ese período de tiempo sin cuotas iniciales.

La innovación que le permitió a los vehículos con motor de combustión sustituir a los carruajes de caballos fue también una innovación en el modelo de negocios: préstamos para carros. Para el momento en que el precio de los vehículos con motor de combustión alcanzó el de los carruajes, la disrupción ya había tenido lugar.

De forma similar, para el momento que el vehículo eléctrico alcance los costos de capital de los vehículos con motor de combustión (en algún momento antes del 2030), la sustitución de la industria automotriz tradicional ya habrá tenido lugar.

Cuando un consumidor se pregunta ¿Qué carro puedo costear? Realmente se está preguntando cuáles son las tarifas mensuales que se ajustan a su presupuesto. Los vehículos eléctricos solo tienen que alcanzar tarifas mensuales similares a las de los carros con gasolina.

Los carros eléctricos están más cerca de conseguir esto de lo que se podría pensar. El Nissan Leaf ya puede ser adquirido con tarifas mensuales de solo \$179 (véase Figura 4.7).



Figura 4.7: Vehículo 100% eléctrico. “Alquíleme por \$179 al mes más impuestos”
(Foto: Tony Seba)

Los aficionados a los carros con motor de combustión gritarán “deseo de autonomía” antes de que se pueda decir “carruajes de caballos”. El mayor defecto de los vehículos eléctricos es que no se pueden manejar distancias muy largas sin que se tengan que recargar. Sin embargo, los desplazamientos promedio de los estadounidenses son de 29 millas (46,7 km) desde y hacia el trabajo. De manera que la autonomía de 75 millas (120 km) por carga del Nissan Leaf es suficiente para un viaje ida y vuelta al trabajo con 17 millas (27 Km) adicionales. ¿Es el “deseo de autonomía” algo real o solo un invento de la industria de los motores de combustión interna? De cualquier manera, estoy de acuerdo con Dan Galves de Deutsche Bank quien expresa que una autonomía de 200 millas (320 km) podría ser el requerimiento mínimo actual para un vehículo eléctrico líder del mercado.

Esto dejaría 142 millas (229,5 km) en el máximo viaje promedio de ida y vuelta al trabajo: 58 millas (93 km).

La industria de los vehículos eléctricos ha sido bastante innovadora en el frente tecnológico, pero no ha explotado lo que podría ser su herramienta más poderosa: un modelo de negocio innovador.

Innovaciones Disruptivas en los Modelos de Negocios

Existían docenas de compañías de internet cuando Google comenzó. Su tecnología era brillante, pero fue un modelo de negocios innovador (AdWords) lo que le permitió a Google convertirse en el líder indiscutible del mundo de los buscadores. Los avances tecnológicos crean el ambiente para que ocurra la disrupción, pero para que esta ocurra, en muchos casos la innovación en los modelos de negocios es más importante que la innovación tecnológica.

Los vehículos eléctricos son dispositivos móviles conectados en red, por lo tanto pueden activar modelos de negocios que los fabricantes de vehículos tradicionales simplemente no podrán reproducir.

Carga Eléctrica Gratis

El 26 de enero de 2014, Jhon Gleeney y su hija de 26 años Jill, completaron un viaje a través de Estados Unidos en el Tesla Modelo S de Jhon.²²¹ ¿Cuánto dinero gastó Gleeney para recargar su vehículo en el viaje? ¡Cero!

Tesla está construyendo su “Red de Supercargadores de Tesla” en Norteamérica y Europa, para que los dueños de un Modelo S puedan viajar por largas distancias y hacerlo de forma gratuita (véase Figura 4.8). Una importante razón para construir esta red, es contraatacar la repetida versión que aparece en los medios de que los vehículos eléctricos no pueden viajar largas distancias por lo que no están listos para las grandes ligas. El Modelo S de Tesla tiene una batería de 85 kWh que brinda una autonomía de 265 millas (426 Km) por carga²²². Jhon y Jill recargaron su Modelo S en 28 estaciones en su viaje a través de Estados Unidos. Toma cerca de cuarenta minutos recargar un 80% de la batería.



Figura 4.8: Red de Supercargadores de Tesla (Fuente: Tesla Motors)²²³

Pero lo más importante de esta red de estaciones de carga, es que le permite a Tesla probar un nuevo y potencialmente disruptivo modelo de negocios. Imagine una compañía de vehículos eléctricos que ofrece combustible gratis por cinco años o 60.000 millas. Detroit no puede hacer eso.

Más temprano en este capítulo se mencionó que alimentar un Jeep Liberty por cinco años costaría \$15.000; \$3.000 anuales, de acuerdo a *Consumer Report*²²⁴. Eso bajo el supuesto de que se conduzcan 12.000 millas al año. Una compañía de vehículos tradicionales no puede costear el ofrecimiento de combustible gratis (\$15.000 en cinco años) como parte del precio de compra.

Sería mucho más fácil para una compañía de vehículos eléctricos ofrecer electricidad gratis por cinco años como un incentivo de compra. Esto le costaría al proveedor cerca de \$1.500.

De acuerdo con Accenture Los fabricantes de vehículos convencionales gastan \$3.000 por unidad en incentivos para los consumidores y vendedores, además de \$1.100 en actividades de publicidad²²⁵. Esto totaliza \$4.100 por unidad. Un fabricante de vehículos eléctricos que ofrezca \$1.500 en incentivos, estaría gastando 62% menos de la cantidad que gastan las empresas de Detroit hoy en día.

¿Qué es peor, el “deseo de autonomía” o la inseguridad financiera producida por los altos precios de la gasolina? ¿Qué porcentaje del mercado accedería a manejar un vehículo eléctrico que incluye recargas gratis?

Incluyendo las cargas gratis con cada vehículo eléctrico vendido sería un modelo de negocios disruptivo. Por otra parte, este modelo haría obsoleta la industria de los vehículos a gasolina; estos no pueden competir en este escenario. No pueden hacer absolutamente nada. Una vez que este modelo de negocios se vuelva el estándar de la industria, la era del petróleo estará básicamente acabada.

Mantenimiento Gratis

Las compañías de vehículos eléctricos pueden sentenciar el final de la industria de los vehículos con motor de combustión, aún más rápido si ofrecen servicios de mantenimiento gratis.

Los costos de mantenimiento de los vehículos eléctricos son drásticamente más bajos que los de los vehículos con motor de combustión. Un motor eléctrico puede durar varias décadas, mientras un motor de combustión fallaría una y otra vez. Los vehículos eléctricos no cuentan con cientos de partes como carburadores, bujías, motores de arranque, alternadores, filtros ni escapes, que necesitan cuidado constante.

Considere una compañía de carros eléctricos que ofrece mantenimiento gratis por cinco años o 60.000 millas. Esta sería otra jugada disruptiva con la que la industria tradicional no podría competir.

El mercado postventa es en realidad una gran gallina de huevos de oro para la industria automotriz actual. Transformar una línea de ganancias como la del mercado postventa en una línea de costos probablemente haría quebrar a la mayoría de los fabricantes de vehículos convencionales.

Anteriormente en este capítulo se mostraron nueve razones por las que los vehículos eléctricos son disruptivos. Mientras está leyendo dos chicos o chicas en Silicon Valley pueden estar trabajando en un innovador modelo de negocios con el que Detroit no podrá competir.

Mi Predicción Hecha en 2010 sobre la Desaparición de los Vehículos a Gasolina en 2030

En el verano de 2010, di una conferencia en Dickinson, Dakota del Norte, donde predije que los vehículos a gasolina serían obsoletos para 2030 (el video está en: <http://youtu.be/MAFoqo3Jbro>). Dakota del Norte estaba pasando por revolución del Fracking y estaba bien encaminada a convertirse en la segunda productora de petróleo del país. Mientras tanto, Tesla Motors había despachado apenas mil unidades de su primera generación de vehículos eléctricos, el Roadster. Mi predicción sonó bastante alocada, pero en realidad pudo haber sido muy conservadora.

En el 2010, la realidad era que las baterías de ion de litio adecuadas para la industria de los vehículos eléctricos costaban alrededor de \$1,000 por kWh. El Roadster de Tesla tenía una batería de 53 kWh, que costaba cerca de \$53.000, cerca de la mitad del costo de vehículo entero.

Para hacer mi predicción tomé en cuenta lo que me pareció un supuesto razonable. Consideré que las baterías de ion de litio tendrían una disminución en sus costos con una tasa anual de 12% (véase Figura 4.9). A ese ritmo los costos de estas baterías alcanzarían los \$100 por kWh para el 2028. Cuando los costos de almacenamiento para los vehículos eléctricos alcancen ese límite; le dije a mi audiencia en Dakota de Norte, se acabó el juego para los carros a gasolina (y para el petróleo). Mi predicción fue recibida por un gran silencio.

Mientras todos los demás estaban prometiendo un siglo más para el petróleo y el gas, yo le decía a mi audiencia que ese reino solo duraría un par de décadas más. Entonces, el consenso energético era errado o mi predicción era una locura. En mi camino de regreso al aeropuerto escuche al orador que siguió después de mí, un político, comenzó a hablar sobre la necesidad de “carbón limpio”. No necesité preguntarme quien de los dos era el loco.

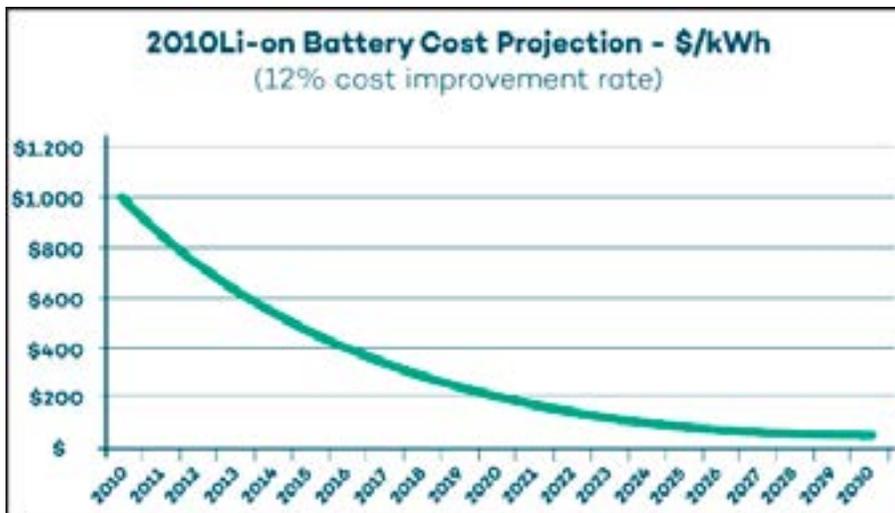


Figura 4.9: Mi predicción de 2010 sobre el costo de las baterías de ion de litio para vehículos eléctricos en \$/kWh (Fuente: Tony Seba)

El componente más costoso en los vehículos eléctricos actuales es la batería. Los modelos más populares, como los de Tesla, el Nissan Leaf y el Chevy Volt, usan baterías de ion de litio. El Modelo S básico incluye una batería de 60 kWh. Su rendimiento aproximado es de 230 millas (370 km) por carga²²⁶. Esto significa que puede rodar aproximadamente 3,83 millas por kWh de energía almacenada en su batería. El Roadster tenía una batería de 53 kWh con rendimiento de 244 millas, podía avanzar 4,6 millas por kWh.

Para mis cálculos estoy haciendo uso de un promedio de cuatro millas por kWh de energía almacenada en la batería. Básicamente, un vehículo con rendimiento de 200 millas necesitaría una batería de 50 kWh. Debe notarse que no todas las baterías de ion de litio son iguales. Como ocurre con muchos productos (smartphones, franelas o carros) existe un rango de calidad y precio del cual se puede escoger.

Cuando las baterías de ion de litio alcancen los \$100 por kWh, las baterías para vehículos eléctricos con rendimiento de 200 millas costarán cerca de \$5.000. Suponiendo que esa batería representa un tercio del precio del vehículo, se dispondrá de vehículos eléctricos similares al Modelo S de Tesla por solo \$15.000.

En comparación, el precio promedio de un vehículo nuevo en Estados Unidos en 2013 que fue de \$31.252²²⁷, incluso los vehículos de gamas más bajas como Hyundai o Kia, tuvieron un precio promedio de \$22.418.

El margen de operación de GM fue de 3,3% en 2013, subiendo de su -19,9% de 2012, de acuerdo con Morningstar²²⁸. Con base en lo anterior, se puede decir que GM no tiene mucho margen en sus precios sin llegar a caer en números negativos, donde flujos de capital insostenibles comienzan a aparecer. Marcas Premium como BMW operaron con márgenes de 8,7 a 11,7% entre 2010 y 2012²²⁹. Esto le da a BMW un poco más de rango para maniobrar, pero no es demasiado. Un cambio de precios de mercado del 10% podría enviar ambas compañías a la zona de números rojos.

La industria de los vehículos a gasolina simplemente no podrá competir con vehículos con la calidad del Modelo S de Tesla que se vendan a 15.000 o \$20.000. No podrá Kia, no podrá GM, no podrá BMW y no podrá Toyota. La industria de los vehículos a gasolina estará en problemas cuando los costos de las baterías alcancen los \$100 por kWh. En ese momento la disrupción estará sobre ellos.

Mi proyección de 2010 apuntaba a que los costos de las baterías alcanzarían los \$100 por kWh en 2028. Pero parece que esto ocurrirá de forma más rápida.

Mi predicción de 2010 estaba en un margen aceptable, pero los costos de las baterías eléctricas están bajando más rápido de lo que predije en ese momento. Como usualmente ocurre en los mercados tecnológicos, el virtuoso ciclo de la innovación y la competencia está empujando los costos de las baterías hacia abajo un poco más rápido de lo esperado. El secretario del Departamento de Energía de Estados Unidos indicó en 2012 “El costo de fabricar baterías de ion de litio ha caído de 1000 o \$1200 a \$600 en solo tres años [entre 2009 y 2012]”²³⁰.

Yo no estaba muy lejos. Mi predicción original establecía que para 2014 el costo de las baterías sería de aproximadamente \$600 por kWh. Hoy en día, los costos de las baterías para vehículos eléctricos rondan los \$500 por kWh.

Mi Nueva Predicción sobre la Desaparición de los Vehículos a Gasolina en 2030

Las baterías de los carros de Tesla están compuestas por miles de pequeñas celdas de ion de litio similares en tamaño a las celdas de las baterías de las laptops o los celulares. Tiene sentido pensar que la curva de costos para las baterías de ion de litio de los vehículos eléctricos debe ser bastante aproximada a la de las baterías de las laptops.

¿Qué tanto seguirán cayendo los costos de las baterías de ion de litio? Se puede mirar un reciente precedente para guiar nuestras ideas y hacer la predicción: el costo de las baterías de ion de litio para laptops, smartphones y tablets. De acuerdo con el Deutsche Bank, el costo de las baterías de las computadoras cayó desde \$2.000 hasta \$250 en un periodo de quince años. Esto representa una mejora en la relación de costos con una tasa anual de 14%²³¹.

Basado en esta mejora en la relación de costos del 14% (véase Figura 4.10) mi predicción para el costo de las baterías en 2014 es \$498 por kWh. Esto ajusta mejor los datos. Me encanta el método científico. Los datos basados en evidencias deben guiar los datos, no debe ser en sentido contrario.

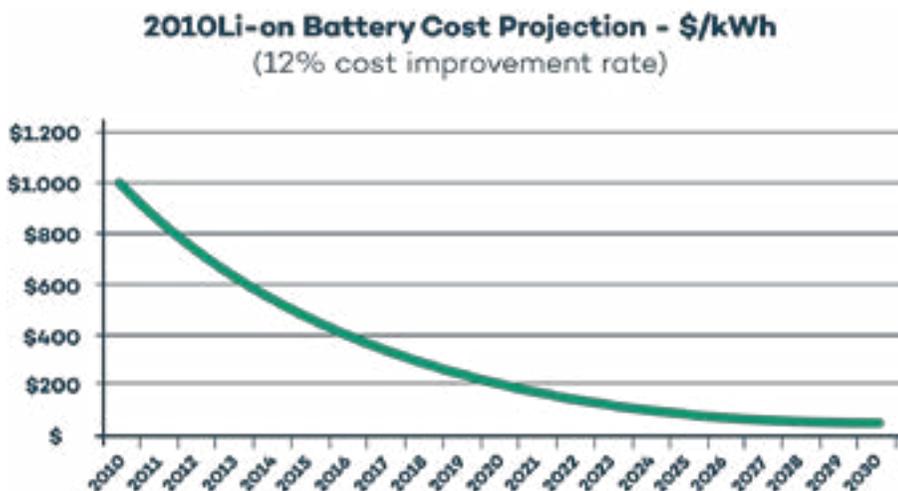


Figura 4.9: Mi proyección en 2010 del costo anual de las baterías de ion de litio para vehículos eléctricos en \$/kWh (Fuente: Tony Seba)

Tiene sentido que los costos baterías de ion de litio están cayendo más rápidamente que el precedente histórico. Nunca la inversión en almacenamiento energético había sido tan grande. Al menos tres industrias trillonarias están invirtiendo billones para lograr mejores baterías: la electrónica, la automotriz y la energética. Apple, Samsung y Google están tan interesados en las baterías como Tesla, SolarCity y General Electric.

Tesla está construyendo una fábrica de 5 billones de dólares de baterías de nueva generación (apodada la “Gigafactory”) en Nevada, Estados Unidos. La inversión duplicará por sí sola la capacidad de producción de baterías de ion de litio del mundo. La fábrica abrirá sus puertas en 2017 y producirá suficientes baterías para

500.000 carros para el año 2020. Tesla proyecta que venderá 35.000 unidades en 2014, así que la nueva fábrica podría representar un mínimo de crecimiento de catorce veces en seis años²³². Se ha dicho que Panasonic, el gigante japonés de la electrónica, está en conversaciones con Tesla para invertir 1 billón de dólares en “Gigafactory”²³³. SolarCity ha estado utilizando las baterías de Tesla para sus instalaciones de energía solar²³⁴. Estas baterías les permiten a los usuarios de energía solar tanto almacenar excedentes de producción como comprar energía eléctrica cuando es barata para usarla cuando se hace cara. De hecho, la fábrica funcionará en un 100% gracias a la energía solar y eólica generada cerca de esta. Presumiblemente, la fábrica generará las baterías que almacenaran la energía solar y eólica que será utilizada para la producción de nuevas baterías.

Las líneas entre la industria automotriz, la industria energética y la industria de la electrónica están desapareciendo. Muy pronto se habrán borrado por completo.

La tasa de mejoramiento en la relación de costos de 16% no toma en cuenta la posibilidad de grandes avances puntuales. Los directivos de Tesla están hablando de “un paso hacia adelante en la tecnología de las baterías en cinco o diez años que permitirá rendimientos de 5.000 a 10.0000 millas y cargas completas en segundos”²³⁵.

Instituciones académicas alrededor del mundo, incluyendo mis alma mater Stanford University y MIT, han hecho de la energía un de sus principales prioridades para la investigación y el desarrollo. Su trabajo ya ha comenzado a dar frutos. El profesor de MIT Donald Sadoway se ha enfocado en el desarrollo de baterías de metal líquido para almacenamiento en la red eléctrica utilizando materiales económicos y ampliamente disponibles²³⁶. Ambri, el primer startup exitoso de su laboratorio en MIT, rápidamente alcanzó los 15 millones de dólares en capital de riesgo gracias a Bill Gates y otros. Ambri, ya ha sido catalogada como una de “Las 50 Compañías Disruptivas” de 2013 por MIT Technology Review²³⁷. El profesor Stanford Yi Cui y su grupo están utilizando nanotecnología y materiales económicos; como el sulfuro y el silicio, para construir baterías desde la tierra haciendo uso de nanotubos de carbón grafeno y otros materiales avanzados. Los primeros resultados apuntan a mejoras de órdenes de magnitud en la relación de costos y en densidades de energía para su almacenamiento²³⁸. Un ejemplo, es la nueva configuración de las baterías de Redox Flow que pudieron bajar sus costos de producción a cerca de \$45 por kWh.

2010Li-on Battery Cost Projection - \$/kWh
(16% cost improvement rate)



Figura 4.10: Proyección del costo de las baterías de ion de litio para vehículos eléctricos en \$/kWh (Fuente: Tony Seba)

Mis nuevas proyecciones para las baterías de ion de litio de los vehículos eléctricos (véase Figura 4.10) se ajustan mejor al pasado reciente (2010-2013). Asumiendo que durante la próxima docena de años se mantenga la tasa de crecimiento del 16%, la industria automotriz esta lista para una rápida transformación (véase Cuadro 4.1).

Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Costo(\$/kWh)	\$500	\$420	\$353	\$296	\$249	\$209	\$176	\$148	\$124	\$104	\$87	\$73

Cuadro 4.1: Proyección del costo de las baterías de ion de litio para vehículos eléctricos en \$/kWh (Fuente: Tony Seba)

En esencia el Cuadro 4.1 apunta a que el costo de las baterías de ion de litio llegará a 100 kWh en 2023. Para 2025, el costo caerá hasta 73 kWh.

Esto pareciera ser una agresiva proyección de la reducción de los costos de las baterías. Sin embargo, Tesla, ya se encuentra por delante de esta curva. Dado que Tesla no revela sus costos, se puede deducir un valor aproximado para sus costos a partir del precio final publicado. El Modelo S60 tiene un precio de \$71.070 (sin incluir los incentivos), el Modelo S85 indica \$81.070²³⁹. Existen dos diferencias principales entre estos dos modelos: el S85 tienen una batería más grande (85 kWh vs 60 kWh), el S85 tiene un motor más grande (362 hp vs 302 hp) además el S85 incluye un compresor y cauchos mejoradas Michelin de 19 pulgadas.

El compresor se vende por \$2.000 y los cauchos Michelin por \$1.000 para un precio en conjunto de \$3.000. Asumiendo un margen de 50% en estos dos artículos (lo cual es un poco grande). El costo para la compañía es de \$1.500. Además asumiendo que Tesla no tiene margen en las mejoras de la batería y o el motor, la mejora de 25 kWh de almacenamiento en la batería costaría \$8.500. Esto significa que la batería tendría un costo máximo de \$340 por kWh. Esto representaría el límite superior para los costos en la batería de Tesla. Deutsche Bank publicó un reporte en julio de 2013 que estimo el costo de las baterías de Tesla en \$350 por kWh²⁴⁰.

¿Cuál es el significado de estos costos de las baterías para la transición a una industria automotriz eléctrica? Reportes sobre vehículos eléctricos hechos por varios analistas influyentes, incluyendo McKinsey, Morgan Stanley y Deutsche Bank, apuntan a que en el mercado estadounidense donde la gasolina cuesta \$3,50 por galón o más, los vehículos eléctricos se harán competitivos cuando los costos de las baterías alcancen los 300 a \$350 por kWh. En mercados europeos donde la gasolina se vende a \$8 por galón o más, los vehículos eléctricos se harán competitivos cuando los costos de la batería alcancen \$400 por kWh.

Tesla ya se encuentra en el dulce lugar de la disrupción. El mejor vehículo SUV asequible vendido en 2013 en Estados Unidos fue el Buick Enclave 2014 de acuerdo a *News & World Report*²⁴¹. Este se vende entre 38.698 y \$47.742. El vehículo deportivo de Tesla, el Modelo 3, que fue lanzado en 2015, se vende entre 35.000 a \$40.000, lo que lo coloca en un muy buen lugar dentro del mercado²⁴². El Modelo 3 base tiene una batería de 60 kWh con rendimiento de 265 millas.

De acuerdo con el CEO de Tesla, Elon Musk, el Modelo 3 de Tesla “tendrá el desempeño de un Porsche 911 Carrera”. Esto significa que Tesla ofrecerá un SUV con el desempeño de un vehículo de \$100.000 por tan solo \$40.000. El Buick Enclave no puede competir con esto. Tampoco ningún otro SUV del mercado. Ni siquiera Porsche puede hacerlo.

Si Tesla pudiese fabricar miles de carros al año, la migración masiva a los vehículos eléctricos empezaría con el Modelo 3 de Tesla. Sin embargo, a pesar de sus promesas tecnológicas, capacidades de diseño y éxito en el mercado, Tesla ha puesto una prima en la fabricación de carros de calidad. La devoción de Tesla hacia la calidad, ha limitado su habilidad para rápidamente escalar a la producción de millones de unidades al año.

La mayoría de las grandes empresas de vehículos eléctricos no han alcanzado la marca \$350 por kWh de las baterías de Tesla. El mercado parece estar rondando los \$500 por kWh. El Cuadro 4.1 indica que el mercado alcanzará los \$350 por kWh en 2016 o 2017. Esto indica que la migración masiva hacia los vehículos eléctricos comenzará en 2016 o 2017. Esto también significa que Tesla tiene una ventaja de dos años en los costos de las baterías con respecto a su competencia.

La Migración Masiva a los Vehículos Eléctricos

Mis proyecciones indican que el costo de las baterías de ion de litio alcanzarán los \$200 por kWh para el 2020 (véase Cuadro 4.1). Mis proyecciones no están alejadas del consenso actual. Las baterías de los vehículos eléctricos alcanzarán los 200 o \$250 por kWh para 2020, de acuerdo a Anand Sankaran, ejecutivo tecnológico para almacenamiento energético y sistemas de alto voltaje de Ford Motor Company²⁴³. La consultora McKinsey apunta a un costo de \$200 por kWh en 2020²⁴⁴ y Navigant espera costos de \$180 por kWh para 2020.

Cuando las baterías de ion de litio alcancen los \$200 por kWh, las baterías para vehículos eléctricos con rendimiento de 200 o más millas costarán cerca de \$10.000. Empujar los costos de las baterías hacia abajo hace que las baterías representen una porción más pequeña del precio de los vehículos. La batería original del Roadster costaba cerca de la mitad del precio del vehículo, pero Tesla está bajando los precios de las baterías. Actualmente el costo de la batería en un modelo de Tesla equivale a un cuarto del valor del vehículo²⁴⁵.

Asumiendo por un momento que el costo de la batería es tercio del costo del vehículo; siendo más conservador, cuando las baterías alcancen costos de \$200 por kWh, se podrá adquirir un modelo equivalente al Modelo S de Tesla por cerca de \$30.000. De hecho, el vehículo de nueva generación de Tesla, el Modelo E, esperado para 2017, tiene un costo anticipado de \$35.000.

Vale la pena recordar que el costo promedio para un vehículo nuevo en Estados Unidos es de \$31.252²⁴⁶. Este vehículo promedio (Toyota, Ford, GM, Honda, Nissan) costará lo mismo que un modelo eléctrico de Tesla “con el 911 desempeño de un Porsche Carrera”. Los vehículos tradicionales estarán fuera del juego. ¿Ya mencione que los costos de mantenimiento y combustible de los vehículos eléctricos son 90% menores que los de los vehículos tradicionales?

Incluso vehículos de gama baja como los de Hyundai y Kia, que son vendidos por un promedio de \$22.418, no podrán competir. ¿Usted compraría un Kia por \$22.000 o un vehículo eléctrico con el desempeño de un Porsche 911 Carrera por \$30.000?

Recuerde, Tesla está por delante de la curva. Elon Musk dijo que su compañía está buscando una disminución de los costos de entre 30 y 40% (por kWh) en la batería del Modelo S. Asumiendo que la batería del Modelo S cuesta \$350 por kWh, la batería de próxima generación de Tesla costaría de 210 a \$245 por kWh. Tesla logrará estos costos para el 2015 aproximadamente, es decir, varios años antes del consenso general que indica el 2020.

El Último Vehículo a Gasolina

Cuando las baterías lleguen al nivel de \$100 por kWh, las baterías para los vehículos eléctricos con rendimiento de 200 millas podrían costar \$5.000. En este punto, los vehículos eléctricos de todas las categorías se harán más baratos que su carro a gasolina “equivalente”. Escribo la palabra “equivalente” entre comillas, porque la industria automotriz de hoy utiliza el paradigma obsoleto del precio/desempeño. Por ejemplo un vehículo eléctrico como el Modelo 3 de Tesla pertenecería a la misma categoría de rendimiento que el Porsche 911 Carrera de \$100.000, pero a la misma categoría de precios que el SUV Buick Enclave de \$40.000. Los vehículos eléctricos sustituirán este paradigma de precio/desempeño.

La industria de los vehículos convencionales esta errada en la forma en que clasifica a los vehículos de gasolina “equivalentes” a vehículos eléctricos dado que estos últimos son una nueva raza en todos los aspectos. De acuerdo a Masato Inoue “El vehículo eléctrico es una reinención del automóvil, no solo una sustitución”. Un Porsche no puede competir con el Modelo 3 porque costaría cerca del doble y tendrían el mismo desempeño. El Enclave costaría lo mismo, pero tendría solo una fracción de su desempeño.

El vehículo eléctrico cambia las bases de la competencia en el sector del transporte (véase Figura 4.11). De todas las razones por las cuales el vehículo eléctrico es competitivo esta es probablemente la más poderosa de todas.

Ni los carros a gasolina de alta gama ni los de baja gama, pueden competir con los vehículos eléctricos en el mismo rango de precios. Cuando los costos de las baterías alcancen los \$100 por kWh, la industria de los vehículos a combustión interna estará acabada. En ese punto no será financieramente lógico tener un vehículo a gasolina o diésel sin importar el costo de la gasolina.

Vehículos Eléctricos Cambian el Precio/Ecuación de Rendimiento
-> Interrupción de la BASE de la COMPETENCIA



"El Vehículo Eléctrico SUV de Tesla tendrá el rendimiento

Figura 4.11: El vehículo eléctrico cambia las bases de la competencia en el sector del transporte (Fuente: Tony Seba)

Ni la gama alta ni la gama baja de los automóviles de gasolina tienen oportunidad contra los vehículos eléctricos una vez que éstos tengan el mismo rango de precio. Cuando la calidad de las baterías de los vehículos eléctricos alcance \$100/kWh, la industria de los motores de combustión interna estará obsoleta. A tal punto que no tendrá sentido financieramente tener un vehículo de gasolina o diesel sin importar el costo del petróleo.

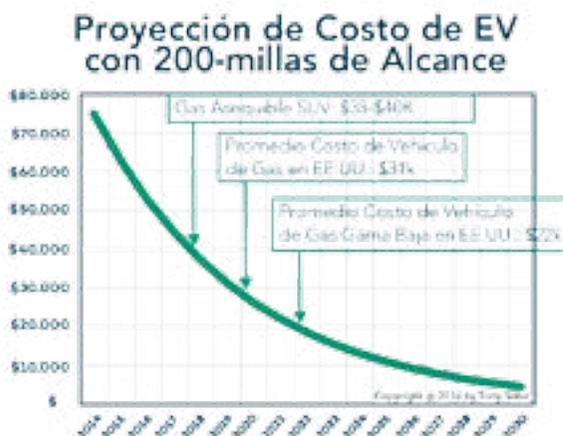


Figura 4.12: Proyección de Costo de EV con 200 millas de alcance

Mis proyecciones apuntan a que se alcanzará el nivel de los \$100 por kWh para el 2024 o 2025 (véase Figura 4.12). A partir del 2025, financieramente no tendrá sentido comprar un carro a gasolina nuevo en ningún mercado del mundo. En este punto todos los extremos convencionales del mercado habrán hecho la transición a los vehículos eléctricos. Aun asumiendo que mis predicciones están adelantadas por un factor de cinco años, solo tomará cinco años adicionales construir la infraestructura de manufactura y la transición hacia los vehículos eléctricos, los carros a gasolina serán los primeros equivalentes del Siglo XXI a los carruajes a caballo de Siglo XX para el año 2030.

Puede que todavía queden millones de viejos carros y camiones a gasolina para ese entonces. Carros de hace diez o veinte años todavía se pueden ver en las carreteras. Probablemente, se encontrarán nichos del mercado como Cuba, donde carros de hace 50 años son habituales en las calles. Pero en esencia no se

producirán vehículos con motores de combustión interna después del 2030. El petróleo también pasará a ser obsoleto entonces.

El petróleo será más barato en el 2030 de lo que es hoy en día (véase Capítulo 8). Aun así, como la industria de los vehículos con motor de combustión comenzará a “implosionar” en 2025, la industria postventa asociada también colapsará. Los vehículos eléctricos no necesitan tanto mantenimiento y no tienen tantas piezas. Existirán menos estaciones de servicio, talleres mecánicos y tiendas de partes usadas para abastecer a los dueños de vehículos con motor de combustión. Como las compañías tradicionales desaparecerán o se mudarán a industria de los vehículos eléctricos, estas dejarán de fabricar piezas para sus antiguos vehículos. De la misma manera que es complicado comprar una película fotográfica o un microprocesador Motorola 68000, se hará progresivamente más difícil encontrar piezas para vehículos con motor de combustión. Los costos de operación y mantenimiento de vehículos de gasolina se incrementarán hasta que se hagan insostenibles para todos menos para los más devotos dueños de vehículos con motores de combustión.

De manera que ésta es la respuesta para el ex CEO de General Motor, Dan Akerson, cuando preguntó de qué manera Tesla podría sustituir el “modelo de negocio establecido” en la industria automotriz. El vehículo eléctrico sustituirá esta industria y hará obsoletos a los vehículos tradicionales para el año 2030, o tal vez 2025.

GM pensó que había matado al vehículo eléctrico en los años 90, pero el vehículo eléctrico puede terminar matando a GM y a sus parientes de la industria para el 2025. Mary Barra, el nuevo CEO de GM, de la misma manera que sus colegas en Detroit, Múnich y Toyota, están a tiempo de incursionar en el mundo de los vehículos eléctricos. Pero tienen que comprometerse con los vehículos eléctricos desde hoy. Escoger esperar es escoger ser sustituido.

Lo que quede de la industria de los vehículos con motor de combustión será completamente borrado por la siguiente ola disruptiva: los vehículos autónomos.

Capítulo 5:

La Disrupción de los Vehículos Autónomos

“Este “teléfono” tiene tantas deficiencias que no puede ser considerado un medio de comunicación serio”

William Orton, presidente de Western Union, 1876

“Los problemas significativos de hoy en día, no pueden ser resueltos con el mismo nivel de pensamiento que los creo”

Albert Einstein

“Tienes que dejarlos ir: miedo, dudas, incredulidad. Libera tu mente”

Morpheus, The Matrix

En 2005, decidí vender mi Porsche Boxster y probar un nuevo servicio de carros compartidos llamado Zipcar. Por cerca de \$6 por hora (o \$72 al día), tenía acceso permanente a aproximadamente veinte carros en un radio de cuatro cuadros (véase Figura 5.1). Solo tenía que reservar un carro en la Web de Zipcar (la App para smartphones vino años después), tomarlo y conducirlo. No había necesidad de llaves. Solo deslizaba mi tarjeta de membresía de Zipcar; la Zipcard, y la puerta del carro se abría. El precio incluía gasolina, seguro y millas libres (hasta 120 millas en cada uso).



Figura 5.1: Estación para carros compartidos de Zipcar en San Francisco (Foto: Tony Seba)

En aquel entonces, la llamada economía compartida estaba en su infancia. Menos de una década después la forma en la que pensamos en la posesión capital ha cambiado dramáticamente. Compañías de carros compartidos como Zipcar han hecho posible para miles de personas que no poseen carros acceder a los beneficios de poseerlo por una fracción del precio.

Zipcar contó con más de 760.000 miembros y ganancias por 270 millones de dólares en 2012²⁴⁷. De acuerdo a la compañía, cada uno de sus carros reemplaza a quince carros de las calles²⁴⁸. Bajo esta premisa de 15 a 1, se tiene que 10.000 carros de Zipcar podrían haber evitado la venta de 150.000 carros. Para ponerlo en otras palabras, el modelo de negocios de Zipcar podría haber evitado que los fabricantes de vehículos vendieran 150.000 unidades. No estoy seguro cuantos ejecutivos de la industria automotriz han perdido el sueño por la industria de los carros compartidos, pero si estoy seguro que pronto muchos lo perderán.

Carros en la Nueva Economía Compartida

Zipcar solo es parte de una serie de olas disruptivas que afectan a la industria automotriz, las industrias del transporte público y privado y el mundo de la logística.

La economía compartida se ha extendido hasta los hogares, en promedio el bien más valioso de los estadounidenses. Tradicionalmente, nuestro hogar ha sido también nuestro castillo. Ahora, con servicios web como Airbnb.com, miles de dueños de hogares ganan dinero alquilando sus casas a completos extraños de todas partes del mundo.

Un estimado de 300.000 personas en San Francisco ha alquilado sus casas a nueve millones de extraños a través de Airbnb.com²⁴⁹. Fundada en 2008, Airbnb.com tiene 500.000 publicaciones en 34.000 ciudades en 192 países alrededor del mundo²⁵⁰. En menos de cinco años Airbnb.com pasó de ser una simple idea de sus fundadores a ser posiblemente la más grande cadena hotelera de todo el mundo.

Aún más personas han alquilado sus casas usando servicios como CouchSurfing.com. Fundada en San Francisco en 1999, CouchSurfing.com ha permitido que seis millones de personas duerman en 100.000 ciudades del mundo gratuitamente²⁵¹.

Existe una diferencia entre servicios para compartir como Zipcar y Airbnb.com. Zipcar es como una franquicia de hotel para carros. Las compañías hoteleras tienen habitaciones y las alquilan en base a la disponibilidad en tiempo. Zipcar es dueña de sus propios carros.

Después de los hogares, los carros son el bien más valioso en promedio para los estadounidenses. A pesar de esto, es un bien que solo es utilizado por dos horas al día. Esto solo representa un 10% de capacidad de utilización por lo que es un bien costoso. Mensualmente cada usuario paga cientos de dólares por préstamos vehiculares, seguro, estacionamiento, gasolina y mantenimiento. Todo esto por un bien que está en desuso por el 90% del tiempo.

¿Existe una manera de ganar dinero a partir de estos tiempos muertos en los carros? Dado que solo se utiliza el carro unas horas al día, hay una gran capacidad para que las personas alquilen sus carros. Después de todo, si los dueños de hogares están dispuestos a compartir su más valioso bien, ¿no deberían hacerlo también los dueños de vehículos?

Un gran número de compañías para compartir carros con un gran número de nuevos modelos de negocios han aparecido en San Francisco. Lyft apunta

directamente al mercado de los taxis. La App permite a las personas usar sus carros como taxis en sus tiempos muertos. Todo lo referente a esto, desde solicitar un vehículo, hacer los pagos y catalogar a los conductores, se hace desde un smartphone mediante una App.

Uber comenzó por conectar conductores de limosina con clientes potenciales al momento de la demanda. La compañía agregó un modelo de precios estilo subasta parecido al de eBay para igualar la demanda a la oferta. El resultado es que un viaje durante un periodo pico puede ser mucho más costoso que durante un período estándar. Yo viaje en un vehículo de Uber para una fiesta de año nuevo en San Francisco North Beach y pague \$50 por un viaje que hubiese costado 15 o \$20 en un taxi regular. El conductor me explicó que luego de la media noche las tarifas esperadas eran de \$100.

Lyft y Uber son empresas intermediarias en el mercado del transporte personal. Estas ayudan a hacer este mercado más eficiente conectando a los vendedores, con disponibilidad de ofrecer el servicio, con consumidores que no podrían acceder a este servicio de otra manera. Estas compañías ya transformaron el mercado de los taxis en San Francisco y se están expandiendo de forma global a una velocidad increíble.

Uber comenzó sus operaciones a principios de 2009. Menos de cuatro años después, estaba manejando un millón de solicitudes de carros a la semana y completando cerca de 80% de ellas. Las ganancias de la compañía para 2013 se estimaron en 213 millones de dólares²⁵². Uber recientemente generó más de 341 millones de dólares en capital de riesgo en una ronda que valoraba a Uber en más de 3,5 billones de dólares²⁵³. El mayor inversionista en esa ronda fue Google, quien colocó 250 millones de dólares en la compañía de cuatro años de edad.

Sin embargo, los taxis solo representan una pequeña porción de los vehículos que circulan por las vías actualmente. De acuerdo con Wards Auto, más de un billón de carros vaga por el planeta²⁵⁴. Se espera que este número crezca hasta 2,5 billones, de acuerdo con el Foro de Transporte Internacional²⁵⁵.

La mayoría de este billón de vehículos se encuentra en un estacionamiento por el 90% del tiempo. Hay una gigante oportunidad de negocios para la compañía que logre movilizar al menos una pequeña porción de esta potencial capacidad de transporte ociosa.

Otro servicio de igual a igual llamado GetAround.com espera darle un mejor uso a los carros del mundo. En vez de dejar que los carros permanezcan ociosos por días u horas, GetAround pide que sea alquilado a un vecino o alguien que viva cerca. Este servicio se asemeja al modelo de Zipcar en el que los usuarios

pueden alquilar un carro por horas o por el día. Pero a diferencia de Zipcar, GetAround no tiene que comprar y hacer el mantenimiento de una flota entera de carros. La compañía solo conecta a vendedores con compradores y recibe un porcentaje de la transacción.

Conceptualmente, el problema de este negocio es que el carro del vecino puede no estar disponible cuando otra persona lo requiera. El carro probablemente salga a un puesto de trabajo en la mañana y no regrese hasta el final de la tarde. El carro puede estar ocioso, pero estacionado a 25 millas de otro vecino que lo necesita para ir al supermercado. Modelos de negocio de esta naturaleza funcionan en áreas con gran densidad de vendedores y compradores como San Francisco y Nueva York. ¿Podría este modelo de negocios funcionar en los suburbios a 25 millas de la acción?

Vehículos Autónomos: La Máxima Máquina Disruptiva

El vehículo autónomo será disruptivo para la industria automotriz, la industria del transporte (pública y privada) y la industria de la logística. También lo será para la industria petrolera. Los vehículos autónomos cambiarán radicalmente los mapas de nuestras ciudades de una forma que no ha sucedido desde la desaparición de las carretas de caballo.

Un vehículo autónomo buscará a los usuarios, los llevará a su sitio de destino y recogerá a un nuevo usuario. Para ir a un nuevo destino, solo se pondrá la orden en el smartphone (hablando con Siri por ejemplo), otro vehículo autónomo llegará al sitio para cumplir esta orden.

No tiene importancia quien sea el dueño del vehículo autónomo, una compañía como Zipcar o un particular que este en el trabajo; esto no hace ninguna diferencia. Habrá siempre un vehículo disponible para cubrir las necesidades de transporte de cada usuario. No será necesario vivir en una zona alta densidad poblacional.

El modelo de negocios de transporte en base a la demanda de los carros autónomos expandirá el negocio del transporte. Considere a las millones de personas con discapacidad, los niños y las personas mayores que no pueden manejar. Tendrán a su disposición vehículos que los trasladen a la escuela, al parque, al doctor o la casa de sus familiares o amigos.

Los padres que se encuentren presionados por el tiempo no tendrán que llevar sus hijos a la escuela o sus padres al doctor. Los ciegos podrían ir por si solos a restaurant que está al otro lado de la ciudad. Todo esto sin la necesidad de una licencia para conducir o un carro privado.

Carros a Gasolina: La Máxima Máquina de Desperdicios

Durante la hora pico, la autopista I-880 en el Área de la Bahía tiene uno de los peores tráficos de Estados Unidos. Cuando tengo que ir a un lugar cercano a la I-880 programo mis reuniones tarde en la mañana o temprano en las tardes de manera que pueda llegar y salir sin encontrarme atascado en la hora pico. Sin embargo la vida es raramente lineal incluso para solo ir del punto A al punto B.

Hace poco fui invitado a un evento en Powerhouse donde soy consultor. El evento era en Jack London Square en Oakland a las 5:00 de la tarde. Cuando estoy en mi casa en San Francisco, tomo el subterráneo o el ferry de BART (Tránsito Rápido del Área de la Bahía) hacia Oakland. Sin embargo, tuve una reunión temprano en la tarde en San José que se extendió. Cuando finalmente llegué a la I-880 eran las cuatro de la tarde, muy cerca de la hora pico. Tenía exactamente una hora para recorrer las 38 millas hasta Oakland, lo que normalmente es tiempo suficiente, pero para ese momento la I-880 ya parecía un estacionamiento. Veinte minutos después de mi viaje solo había avanzado cinco millas.

En ese momento, deseé tener un vehículo autónomo (véase Figura 5.2).

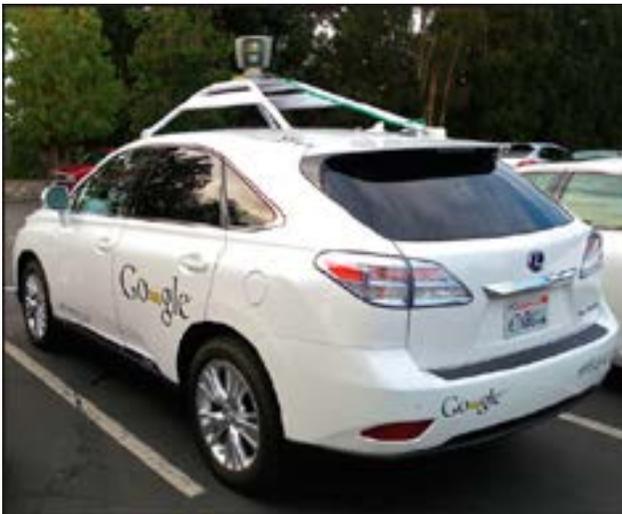


Figura 5.2: Lexus convertido en vehículo autónomo por Google (Fuente: Wikipedia)²⁵⁶

El mundo seguía girando, pero mi carro estaba ocioso. Necesitaba tiempo para trabajar en este libro y mi curso de disrupción en Stanford. Necesitaba revisar el diseño de una planta de energía eólica en proyecto. Yo era consultor en una potencial inversión en una compañía de buses eléctricos y necesitaba llamar a mi socio de negocios en Londres. Ya era un poco más tarde de la medianoche en el Reino Unido, pero podía enviar un email a mi socio y probablemente todavía estuviese despierto para recibirlo. No había llamado a mi amiga Sara en un buen tiempo. O a Margie. Y además necesitaba un poco de tiempo para relajarme.

Pero estaba atascado en el tráfico. Estaba seguro de que no llegaría a mi compromiso en Oakland. Di la vuelta y regresé a San José.

El vehículo a gasolina es la máxima máquina de desperdicios. Esta se encuentra asociada a desperdicios en al menos cinco dimensiones diferentes

1. Desperdicia vidas.
2. Desperdicia espacio.
3. Desperdicia tiempo.
4. Desperdicia energía.
5. Desperdicia dinero.

El vehículo autónomo cambia el juego y minimiza el desperdicio en todos los ítems de la lista.

1. Desperdicio de Vidas

El número de muertes causadas por accidentes automovilísticos es una tragedia humana de proporciones innumbrables. Solo en Estados Unidos, seis millones de colisiones provocaron 32.778 muertes en 2010. Se estima que el 93% de esas muertes fueron causadas por errores humanos. En 2009, 2,3 millones de conductores y pasajeros adultos terminaron en la sala de emergencias de un hospital²⁵⁷.

Para poner esto en contexto, 58.220 estadounidenses murieron en Vietnam (1956-1975)²⁵⁸. Durante esos mismo años 757.538 estadounidenses (trece veces más) murieron en accidentes de vehículos motorizados en el país²⁵⁹.

En el mundo 1,24 millones de personas murieron en accidentes automovilísticos en 2010, según datos de la Organización Mundial de la Salud²⁶⁰. Casi la mitad de esas muertes fueron de peatones, ciclistas o motorizados²⁶¹.

Adicionalmente, entre 20 y 50 millones de personas sufren heridas no fatales en accidentes de tránsito.²⁶²

Claramente, los humanos no somos buenos conductores. Nos distraemos muy fácilmente. Comemos y bebemos al conducir. Enviamos mensajes de texto o atendemos llamadas telefónicas. Buscamos emisoras de radio o cosas en la guantera. Nos maquillamos, hablamos con los otros pasajeros, tratamos de razonar con los chicos que van en los puestos traseros y soñamos despiertos; muchas veces, hacemos todo esto al mismo tiempo. Además estamos a merced de nuestros límites físicos. Que tan bien podemos ver, que tan rápidos son nuestros reflejos, inclusive nuestros patrones de sueño determinan que tan bien podemos manejar.

Modelos matemáticos encontrados en el Centro de Control de Enfermedades revelan que conductores somnolientos pueden estar involucrados en entre 15 a 33% de los accidentes fatales en Estados Unidos, de acuerdo con el profesor de la Universidad de Harvard Sendil Mullainathan²⁶³.

Los vehículos autónomos son superiores a los conductores en muchos aspectos. Tienen un rango de visión de 360 grados, no se distraen, pueden ver de noche y no les da sueño.

Su atención no se diluye porque estén enviando mensajes o hablando por teléfono. No beben, conducen a velocidades inadecuadas o sueñan despiertos.

La tecnología del manejo autónomo aún no es perfecta, pero los vehículos autónomos probablemente ya manejen mejor que la mayoría de los humanos. De acuerdo con Masato Inoue, jefe de diseño de productos para el Nissan Leaf indica “los vehículos autónomos son 6.500 veces mejores que los humanos para detectar el peligro”. El vehículo autónomo de Google ha viajado por 500.000 millas sin provocar ningún accidente. Sin embargo, ha sido colisionado en la parte trasera por conductores humanos.

Los vehículos autónomos están mejorando exponencialmente, gracias a sus componentes tecnológicos; visión, sensores, unidades de procesamiento y capacidad de aprendizaje. Esto hace que exponencialmente aumente su velocidad, economía y desempeño general. El software de inteligencia artificial que maneja estos vehículos también está mejorando. La cantidad de datos a los que los vehículos autónomos pueden acceder se incrementa exponencialmente y la plataforma computacional sobre la cual funcionan también mejora de forma exponencial.

Cuando un ser humano aprende una lección, puede que la comparta o no con otros. Incluso si la comparte, lo que otros pueden aprender de esto es bastante

cuestionable. Un aprendizaje no queda verdaderamente grabado a menos de que sea experimentado. Las personas tienden a cometer los mismos errores muchas veces seguidas. Esta es una de las razones por las que hay tantos accidentes de tránsito.

En contraste, El carro de Google recoge más de 1 GB de datos por segundo²⁶⁴. Para tener una idea de cuanta información es esto. El iPhone 5 tiene 16 GB o 32GB de capacidad de almacenamiento. El carro de Google llenaría la capacidad de almacenamiento del último Smartphone de Apple en solo 32 segundos o incluso menos. Como cualquier otra plataforma computacional, la generación de datos está aumentando de forma exponencial. No pasará mucho tiempo antes de que un vehículo autónomo pueda llenar la memoria de un Smartphone en un segundo. Pero lo más importante, es que el carro de Google aprenderá de estos datos.

Los vehículos autónomos también aprenderán de los datos obtenidos por otros vehículos autónomos. Un vehículo autónomo que cometa un error en Nueva Zelanda, aprende una lección de ese error. Pero lo que pasa en Nueva Zelanda no se queda en Nueva Zelanda. Esta información es codificada y enviada a un “centro de aprendizaje” en Mountain View o en Múnich, donde es decodificada, catalogada, comparada con errores similares cometidos por otros vehículos y retransmitida rápidamente a millones de vehículos autónomos de todo el mundo. En solo días (o incluso horas) del accidente en Nueva Zelanda, todos los vehículos autónomos del mundo habrán aprendido como evitar cometer un error similar; todos los vehículos aprenden a manejar mejor.

Cualquier accidente en cualquier lugar; hará que los vehículos autónomos se vuelvan mejores conductores. En la economía de la información esto es llamado efectos de red. El valor de la red aumenta exponencialmente a medida que la red adquiere más información. La capacidad de aprendizaje de los vehículos autónomos mejorará exponencialmente, lo que hará que pronto sean más inteligentes, mejores, más rápidos y seguros que los mejores conductores humanos.

Que los vehículos autónomos van a ser mejores, más seguros y más rápidos para manejar que usted o yo, es un hecho. Que estos se transformen en los mejores profesionales del volante en el mundo puede parecer sorprendente, pero ellos dejaron a Danica Patrick, Jimmie Johnson, Dale Earnhardt Jr y los mejores conductores de NASCAR comiendo polvo. Los vehículos autónomos no solo derrotarán a los mejores corredores de NASCAR, sino que al mismo tiempo estarán ahorrando combustible y salvando vidas.

Los vehículos autónomos pronto salvarán más de un millón de vidas al año. Solo esto es potencialmente revolucionario.

2. Desperdicio de Espacio

Si un arqueólogo del espacio exterior viniese a estudiar la Tierra, concluiría sin lugar a dudas que los carros son la forma de vida dominante en el planeta. Más espacio urbano es dedicado a los carros que a los seres vivos.

En las ciudades norteamericanas las vías y los espacios de estacionamiento ocupan respectivamente 30 y 60% de la superficie total²⁶⁵. Esto no incluye las entradas a las casas ni los garajes domésticos. Las autopistas también son un gran desperdicio de espacio. Los automóviles ocupan de diez a cien veces el espacio ocupado por otras formas de transporte. Por ejemplo, se necesitan 200 m² (2.152 pies cuadrados) de espacio de vía por cada pasajero de auto versus 30 m² (323 pies cuadrados) en vías arteriales, 2 m² (21,5 pies cuadrados) por pasajero del transporte público y 3 m² (32.3 pies cuadrados) por peatones²⁶⁶.

Es fácil pensar que no hay suficientes autopistas cuando se está viajando por la vía a 60 millas por hora (100 kilómetros por hora) y el tráfico avanza suavemente, pero los vehículos solo utilizan 5% de la superficie de la vía, de acuerdo al profesor Steven Shaldiver²⁶⁷. Esto significa que el 95% de la superficie de la vía no está siendo utilizada en ningún momento. Este espacio es desperdiciado porque, a las velocidades de conducción en autopistas, los carros necesitan de 120 pies (40 m) a 150 pies (50 m) de espacio al frente, por razones de seguridad. También necesitan carriles con el doble de ancho que los convencionales.

Investigaciones han demostrado que los vehículos inteligentes pueden dramáticamente disminuir el espacio necesario para realizar las mismas tareas que realizan los humanos. Por ejemplo, los vehículos autónomos necesitan 25% menos espacio para cambiar de carril²⁶⁸.

Vehículos con Control de Crucero Adaptativo (ACC, por sus siglas en inglés) pueden incrementar la capacidad de las autopistas en un 40%. Mientras que combinando el ACC con la capacidad de interconexión entre vehículos la capacidad de las autopistas puede mejorarse un increíble 273%, de acuerdo con un estudio realizado por la Universidad de Columbia²⁶⁹.

En otras palabras los vehículos autónomos pueden acabar con las congestiones en las autopistas aumentando sus capacidades 3,7 veces. Después de que se presente la disrupción de los vehículos autónomos, habrá que decidir qué hacer con todo el espacio sobrante en las autopistas

3. Desperdicio de Tiempo

La congestión del tráfico costó a los estadounidenses 121 mil millones de dólares en 2012; se espera que esta cifra crezca a 199 mil millones de dólares en 2020, de acuerdo con el Informe de Movilidad Urbana de la TTI.²⁷⁰ La congestión cuesta a los americanos 4.8 mil millones de horas de tiempo, 1,9 millones de galones de combustible desperdiciado, y 101 mil millones de dólares en la combinación de retrasos y costos de combustible cada año.²⁷¹

Aunque lo que más he estudiado han sido los carros, cualquiera que haya visto un camión de reparto de FedEx o UPS parado en doble fila sabe que los camiones también pierden tiempo, espacio y energía. En 2004, antes de la explosión en las entregas por camiones, debida al crecimiento del comercio en línea, los camiones de reparto causaron un estimado de 1 millón de horas de retrasos al resto de vehículos.²⁷² Un estudio encontró que los camiones se estacionaban en doble fila el equivalente a siete horas por día, convirtiendo el espacio vial en sus propias plazas de estacionamiento y empeorando la situación en las ciudades ya congestionadas en horas pico.²⁷³

El tiempo perdido en la carretera también es estresante. El profesor del MIT Carlo Ratti, que desarrolló el índice de frustración en la carretera para cuantificar el impacto del tráfico en la salud mental, concluyó que el estrés de manejar en la ciudad es tan alto como el del paracaidismo.²⁷⁴ Al disminuir la congestión, los vehículos autónomos también reducirán drásticamente el tiempo de transporte al trabajo. Por otra parte, porque los vehículos autónomos no nos necesitan para dirigirlos, el tiempo que perdemos hoy en nuestros carros se convertirá en tiempo productivo.

Algunos pueden optar por navegar por la web (o en lo que se haya transformado la web para 2030) o dormir en sus carros. De cualquier manera, el tiempo que no se está manejando es tiempo añadido a nuestras vidas. Los vehículos autónomos también nos ahorrarán todo el tiempo que desperdiciamos en el estacionamiento y en busca de las plazas de estacionamiento. Nos bajaremos del carro y él se irá alegremente a auto-estacionarse o a recoger al próximo pasajero.

4. Desperdicio de Energía

De acuerdo con el Media Lab de MIT, en áreas urbanas congestionadas, 40% de la gasolina se desperdicia en buscar un lugar para estacionar.²⁷⁵ Las congestiones les cuestan a los estadounidenses 1,9 billones de galones de gasolina y 101 billones de dólares en costos de combustible y tiempos de espera. Eso representa \$713 por cada viajero diario al trabajo²⁷⁶. La primera

forma de ahorrar energía para los vehículos autónomos es bastante mundana: la capacidad de estacionarse solos.

Cuando los vehículos autónomos necesitan estacionarse son mucho más precisos, pueden ubicarse en espacios muy pequeños. Algunos espacios que los conductores podrían considerar muy pequeños son perfectos para que los vehículos autónomos se estacionen. Para encontrar un lugar donde estacionar, el vehículo autónomo se puede comunicar con espacios de estacionamiento con sensores instalados (o con otros vehículos) en un radio de varias cuadras; el vehículo autónomo podría ir directamente al espacio disponible para estacionar sin tener que buscarlo a ciegas.

La reducción de la resistencia al viento es otra forma de ahorrar energía. Dado que los vehículos autónomos pueden sentir la presencia de otros carros de forma más eficiente, estos pueden manejar mucho más cerca unos de otros lo que reduce la resistencia al viento. Esto podría reducir el uso de combustible en un 20 a 30%, de acuerdo al Rocky Mountain Institute.²⁷⁷

5. Desperdicio de Dinero

De acuerdo con American Automobile Association (AAA) el dueño de una minivan que conduzca 10.000 millas al año en Estados Unidos gasta un promedio de \$8.161 para mantener su vehículo²⁷⁸. Esta es una suma relativamente alta al considerar que el ingreso promedio de los estadounidenses en 2011 fue de 26.684²⁷⁹. Estos costos son gastos pos impuestos y absorben más de un tercio de las ganancias promedio de los estadounidenses y rondan los 8,16 centavos de dólar por milla manejada.

Perdidas monetarias globales relacionadas con lesiones por accidentes de tránsito representan más de 518 billones de dólares al año; de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, estas les cuestan a los gobiernos entre 1 y 3% de su producto interno bruto²⁸⁰.

Las congestiones de tráfico les cuestan a los estadounidenses 101 billones de dólares en costos de combustible y tiempo de espera. Esto representa \$713 anuales por cada viajero diario al trabajo²⁸¹. El estacionamiento representa un gasto de promedio de \$1.000 anuales y los daños vehiculares un gasto promedio de \$1.500 anuales²⁸².

Los vehículos autónomos pueden recoger y dejar pasajeros en cualquier lugar, evitando así la necesidad de buscar un espacio para estacionar. Dado que serán

mejores conductores que nosotros, los accidentes y sus costos asociados disminuirán considerablemente.

Finalmente, se tiene que los vehículos autónomos ahorrarán dinero cambiando cada concepto relacionado con la posesión de vehículos. Cuando los vehículos autónomos puedan recoger y llevar personas a cualquier lugar, la mayoría de las personas escogerá no tener vehículo y aquellos que si posean vehículo probablemente lo alquilarán por el 90% del tiempo.

La Acelerada Carrera hacia los Carros Completamente Autónomos

Nissan se ha propuesto tener un carro autónomo accesible en el mercado para el 2020. De acuerdo con Andy Palmer, vicepresidente ejecutivo de Nissan “para el 2020 tendremos un carro que se comporte como los carros que hoy tenemos en las vías de California, lo que significa que te podrás sentar en el asiento del conductor, doblar tus brazos, cruzar tus piernas y el vehículo te llevará a donde quieras llegar”²⁸³. BMW y Mercedes también esperan tener sus vehículos autónomos para el 2020.

Andy Palmer también indico que la conducción automática estará presente en el portafolio completo de los vehículos de Nissan en dos ciclos de vida luego de lanzado el primer vehículo autónomo de Nissan²⁸⁴. El remarca que su compañía está comprometida con “cero fatalidades y cero emisiones”.

¿Qué tan rápido aceptara el mercado a los vehículos autónomos? Las tasas de aceptación y adopción variarán de acuerdo a los segmentos de mercado, grupos demográficos y geográficos. Un estudio llevado por Cisco Systems encontró que el 57% de los encuestados confiaría en vehículos sin conductor²⁸⁵. El reporte encontró que 57 de los brasileños y 86% de los hindúes utilizarían vehículos sin conductor (92% de los brasileños dejarían que sus hijos lo utilizaran sin su supervisión). Solo el 37% de los alemanes y el 28% de los japoneses utilizarían vehículos sin conductor. Los estadounidenses estaban en la mitad, con un 60% de habitantes dispuestos a usar esta tecnología.

Estos son números sorprendentemente grandes para una tecnología que aún no ha llegado al mercado. Que los conductores reciban a los vehículos autónomos puede tener que ver con la necesidad de desprenderse de la molestia de estar sentado frente al volante en congestiones. Estar en el interminable tráfico de Sao Paulo le hará entender la disposición de los brasileños a utilizar vehículos

autónomos. Hace poco estuve en Estambul, Turquía, donde el tráfico es tan pesado que el taxista vio un juego de fútbol en vivo completo mientras conducía.

El año 2020 puede llegar a ser el primer año con solo vehículos autónomos, pero la transición hacia ellos ya ha comenzado. Para entender cómo será esta transición, considere el marco desarrollado por la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), la cual es una agencia gubernamental encargada del desarrollo, establecimiento y el cumplimiento de las normas para la seguridad de vehículos automotores. La NHTSA ha desarrollado un marco de cinco niveles para garantizar la claridad al comunicar sus regulaciones para los fabricantes de vehículos²⁸⁶.

Nivel 0: Sin automatización. En todo momento, el conductor tiene control total del vehículo y todos sus sistemas fundamentales (freno, dirección, aceleración y fuerza motriz).

Nivel 1: Una Función Automatizada. Una función de control está automatizada. Si múltiples funciones están automatizadas, estas operan independientemente de las demás. El conductor tiene el control total y es el único responsable de la operación segura del vehículo, pero el conductor puede ceder control limitado a un sistema de control autorizado.

Nivel 2. Dos Funciones Automatizadas y Combinadas. Al menos dos funciones principales son automatizadas y trabajan conjuntamente. Mediante la combinación de diferentes funciones automatizadas, el vehículo automatizado toma el control, lo que le permite al conductor desentenderse de labores de operación del mismo. El conductor puede retirar sus manos y pies del volante y los pedales simultáneamente.

Nivel 3. Conducción Automatizada Limitada. El conductor cede todas las funciones principales al vehículo; el conductor puede dedicarse a otras actividades distintas a manejar, sin comprometer su seguridad. El conductor puede ser requerido para tomar el control de forma ocasional, pero con suficiente tiempo para hacerlo con comodidad.

Nivel 4. Conducción Automatizada Completa. El vehículo está diseñado para manejarse por sí solo, ejecutar todas las tareas brindando seguridad y monitorear las condiciones de las vías durante todo el viaje, con o sin la supervisión del conductor.

Algunos vehículos de gama alta ya cuentan con elementos de software y hardware, para apartar las labores de manejo de las manos del conductor. El Audi A6 de

2012, por ejemplo, tiene sensores, cámaras y software para asistir al conductor en las tareas del manejo (véase Figura 5.3):

- Estacionar automáticamente.
- Visión nocturna para detectar peatones.
- Asistente para cambio de carril.
- Control de Crucero Adaptativo.

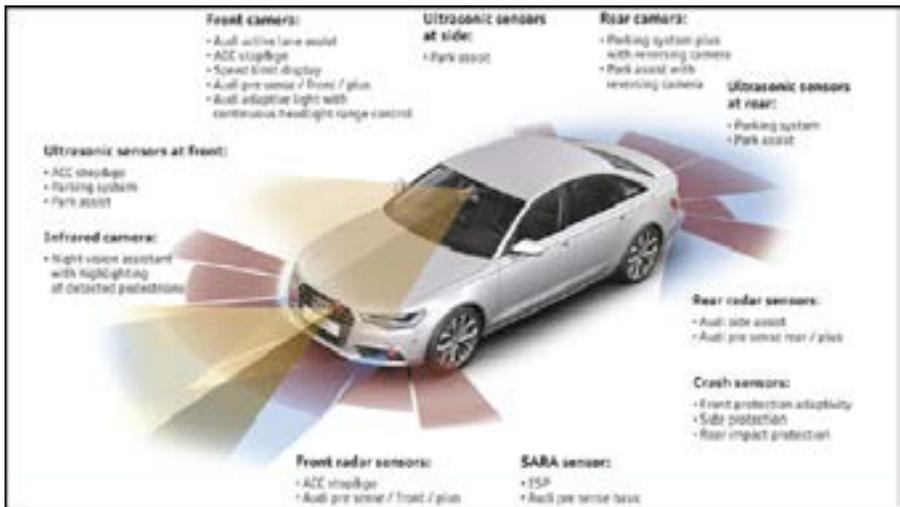


Figura 5.3: Sistemas de asistencia del Audi A6 de 2012 (Fuente: Audi of America)²⁸⁷

El “asistente de cruce” de Mercedes ayuda al conductor a evitar colisiones traseras así como colisiones de tráfico cruzado que se presentan, por ejemplo, en uniones en la vía. Las cámaras estéreo y los sistemas de radar de corto, mediano y largo alcance presentes en el vehículo generan datos visuales. El carro procesa estos datos para determinar si el tráfico cruzado (desde bicicletas hasta camiones) genera un riesgo de colisión. Si una colisión es inminente, el carro no solo avisa al conductor, además activa los frenos para que el vehículo se detenga por completo²⁸⁸.

El BMW X5 ofrece el “asistente de atascos” mediante el cual el carro se maneja a sí mismo en tráfico denso con velocidades de hasta 25 mph (40 km/h). En otras palabras el BMW X5 se convierte en un vehículo autónomo durante los atascos de tráfico²⁸⁹.

Sumando todas estas características se tienen vehículos semi-autónomos. Con respecto a los niveles de NHTSA hay variaciones desde el nivel 1 (Una Función Automatizada) al nivel 4 (Conducción Automatizada Completa). Muchos vehículos ya cuentan con sistemas de asistencia en atascos en los que el conductor puede ceder el control (nivel 3). Conducción completamente automatizada, ya se puede encontrar en transportes universitarios (nivel 4) donde no hay conductor en ningún momento (pero estos vehículos solo se trasladan por caminos predeterminados).

Nivel NHTSA	Ejemplo de funciones automatiz	Role del conductor	Productores que ofrecen funciones
0	Ninguno	Conductor en control absoluto	Todas
1	Control de velocidad adaptivo Freno dinámico de emergencia asistido	Conductor en control pero puede cambiar a función de automatiz simple	Audi, BMW, Mercedes, Nissan y otras
2	Control de velocidad adaptivo Asistencia de mantenimiento en línea Asistencia de atascos	Conductor puede utilizar Internet, por y mensajes y debe estar preparado para tomar el control when needed	Audi, BMW, Mercedes, Nissan
3	Asistencia de atascos Bus autónomo sólo para asistidos Camiónibus autónomizable	Conductor puede dormir	Google, Intel, Nissan
4	Autonómit con autonomía completa	Ninguna	Ninguna

Cuadro 5.1: Estado de los vehículos automatizados de acuerdo al marco de la NHTSA
(Fuentes: Steven Shladover²⁹⁰, NHTSA, y autor)

Gran parte de la tecnología necesaria para los vehículos completamente autónomos (nivel 4) ya está disponible. Dado que los sensores, el hardware computacional y el software de automatización, evolucionan a un ritmo exponencial, en pocos años estos elementos tendrán costos tan bajos como para que vehículos de gama baja los puedan utilizar.

Mejora Exponencial en la Relación de Costos de la Tecnología

En 2012, Google reveló que su vehículo autónomo cuenta con una dotación de equipos valorados en \$150.000²⁹¹. Esto haría al vehículo de Google demasiado costoso para todo el público a excepción de los miembros del club Ferrari. Muchos “expertos” se han cuestionado si los vehículos autónomos van a ser accesibles durante nuestro tiempo de vida.

Google no ha roto esta cifra de \$150.000 a excepción del momento en el que indicó que el costo de su LIDAR es de \$70.000. LIDAR es la cosa rotante, con forma cónica, semejante a un sombrero que se puede ver en el techo del carro (véase Figura 5.2). La palabra LIDAR es una combinación de láser y de radar. El LIDAR es la tecnología que los vehículos autónomos utilizan para ver hacia adelante y en todas direcciones²⁹².

LIDAR representa prácticamente la mitad de valor de un carro de Google. Para que el costo del carro pueda disminuir, la tecnología LIDAR tiene que hacerse más barata. La tecnología LIDAR, usa mediciones de la frecuencia de repetición de pulso (PRF, por sus siglas en inglés) y se ha ido mejorando prácticamente en un 100% cada dos años²⁹³. Esto representa un crecimiento anual de 41%, similar al de la Ley de Moore. Si esta tendencia se mantiene, la tecnología LIDAR verá una reducción en sus costos desde \$70.000 en 2012, hasta \$4.481 en 2020 (véase Figura 5.4).

Siendo Google una compañía tecnológica que mira hacia el futuro, asumo que la mayoría de los equipos presentes en sus vehículos autónomos consisten en computadoras, sistemas de comunicación, sensores, elementos ópticos y otras tecnologías avanzadas. La mayoría de estas tecnologías están evolucionando a un ritmo exponencial. Asumiendo que la Ley de Moore aplica para todos estos equipos, los componentes tecnológicos que le cuestan \$150.000 a Google en 2012, costarían \$9.691 en el año 2020 y caerían a 3.425 para el 2023 (véase Cuadro 5.2).

Desde una perspectiva de costos, tiene sentido que Nissan, BMW y Mercedes Benz hayan anunciado vehículos autónomos para 2020.



Figura 5.4: Reducción exponencial de los costos del sensor LIDAR

Year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Cost	\$70,000	\$49,645	\$35,205	\$24,971	\$17,710	\$12,590	\$8,900	\$6,318	\$4,481

Cuadro 5.2: Costos proyectados del Sensor LIDAR

El cambio tecnológico puede darse antes de lo previsto. A final de 2013, Google anunció que la próxima generación de sus vehículos autónomos usará un sensor LIDAR más pequeño con al menos el doble del desempeño tecnológico del usado anteriormente. Este sensor LIDAR solo costará \$10.000, una séptima parte del precio de la versión anterior²⁹⁴.

Parece que la curva de costos para esta tecnología está acelerando a una tasa más rápida de la esperada. Este es un punto que resalto en mi clase de disrupción en Stanford: ¡la aceleración está acelerado! Yo conocí al CEO de un startup en Silicon Valley que asegura haber desarrollado un sensor LIDAR con calidad para ser utilizado en vehículos autónomos que será vendido por \$1.000.

LIDAR solo es una de las muchas tecnologías para dar visión a los vehículos. Las máquinas también pueden utilizar tecnologías de video de alta definición para escanear y entender el ambiente. Las compañías de semiconductores están compitiendo para desarrollar sensores, hardware y software computacional que puedan leer el aporte de las cámaras. Esta tecnología hará que los carros sean más autónomos.

Fujitsu, por ejemplo, ha anunciado “el primer sistema de visión de 360 grados con detección de acercamiento de objetos” (véase Figura 5.5)²⁹⁵. De acuerdo con Fujitsu, su chip MB86R24 viene equipado con seis canales de entrada HD (cámaras de video) y tres canales de salida para pantallas; el chip tiene la capacidad de detectar objetos que se están acercando y avisar al conductor cuando objetos como personas o bicicletas se están acercando demasiado. Este sistema le permite al conductor tener una visión en 3D de todos sus alrededores desde cualquier ángulo. De acuerdo con el vocero de la compañía, es sistema solo cuesta 500 yenes japoneses; unos \$50.

El costo de las tecnologías que hacen autónomos a los vehículos está decreciendo exponencialmente. Para 2020, la tecnología de los vehículos autónomos no costará más que las pinturas a prueba de óxido y otras garantías que los vendedores de carros a gasolina incluyen para sus compradores. Mientras tanto, la migración de vehículos completamente conducidos a vehículos completamente autónomos ya ha comenzado.

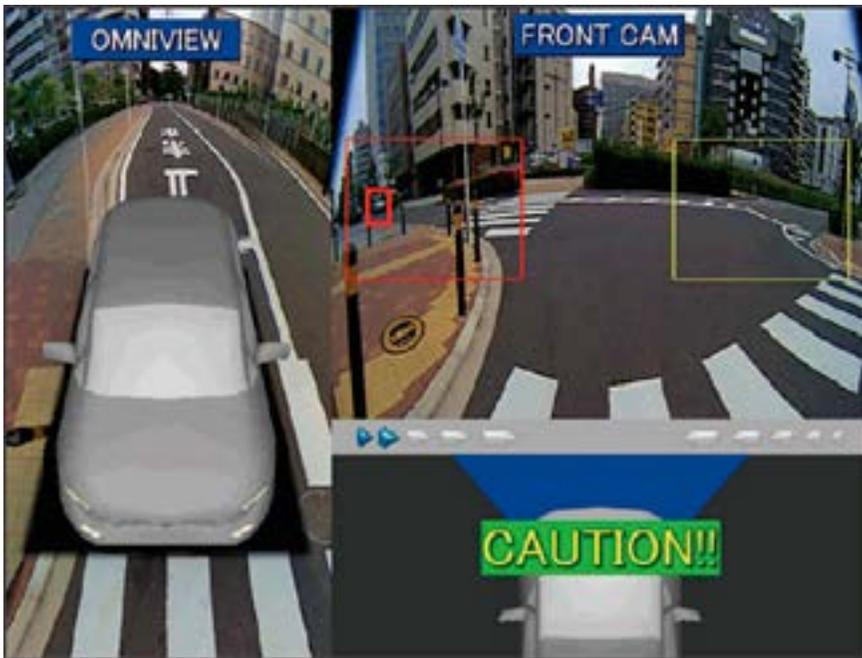


Figura 5.5: Sistema de detección MB86R24 de Fujitsu (Fuente: Fujitsu)²⁹⁶

Google, Apple y Forasteros Automotrices

Compañías como BMW y Ford están desarrollando “interfaces para la programación de aplicaciones” de manera que desarrolladores de software ajenos a sus empresas, puedan crear apps para sus carros, de manera que los conductores las puedan descargar a sus carros a través de una tienda de aplicaciones. William Ford Jr., un directivo de Ford Motor Company, indica que “los carros se están volviendo plataformas de comunicación móvil”²⁹⁷. BMW ya está organizando

“hackatons”. La compañía alemana tiene un grupo de capital de riesgo (iVentures) para dirigir inversiones en compañías de software.

Todo esto suena como Silicon Valley alistándose para sustituir otro mercado tecnológico, algo similar a lo que Google y Apple hicieron con el mercado de los teléfonos móviles. La disrupción no respeta a los conocedores de la industria. De hecho la disrupción muchas veces viene de la nada. El CEO de Tesla, Elon Musk, no proviene de la industria automotriz. Lyndon Rive y Peter Rive no trabajaban en energía antes de fundar SolarCity. Ni Apple ni Google estaban cerca del negocio de la telefonía en el año 2000. El primer iPhone fue presentado solo hace siete años (Junio de 2007)²⁹⁸. La primera versión comercial de Android se presentó unos meses después²⁹⁹.

¿Es posible que los disruptores de la industria automotriz vengan de otra industria?

Sistemas Operativos Automotrices y Mercados Donde “El Ganador se Lleva Todo”

Las plataformas de software tienen fuertes efectos de red y altos costos de cambio. Es difícil para un usuario de Microsoft Windows cambiar a otro software por la inversión que ha hecho; no solo en el software, sino en tiempo y esfuerzo para manejarlo con maestría y hacer uso de tecnología complementaria de Windows. Los efectos de red son la razón por la que Microsoft, a pesar de muchos errores (como Windows Vista o Windows Me) ha acuñado capital por décadas con su sistema operativo Windows. Es difícil abandonar un ecosistema con efectos de red fuertes. Las barreras son muy altas. Los efectos de red también son la razón por la que iOS de Apple y Android de Google manejan más del 90% del mercado de sistemas operativos para smartphones³⁰⁰.

Por otra parte, no hay efectos de red (y costos de cambio muy bajos) en la industria automotriz de hoy. Solo toma unos minutos pasar de un Chrysler SUV a un Ford F150.

No debería parecer sorprendente que Google y Apple quieren entrar en el mercado automotriz. Steve Jobs soñaba con construir un iCar. “Observen a la industria automotriz; es una tragedia en Estados Unidos. ¿Quién está diseñando los carros?” se preguntaba Jobs de acuerdo al directivo de Apple Mickey Drexler³⁰¹.

Google es primordialmente una compañía de software. El gigante de internet aprendió de su adquisición de Motorola Mobility lo delgados que son los márgenes en el mercado del hardware. Por esta razón, Google no va a entrar en la

fábrica de vehículos. Seguramente, Google empaquetará su software para vehículos autónomos como un sistema operativo y ofrecerá licencias a los fabricantes.

Google podría desarrollar el equivalente automotriz a su línea de negocios Android. Podría brindar licencias de su software para compañías de vehículos autónomos en todo el mundo de la misma manera que los hace con las compañías de teléfonos celulares y Android. Esto alentaría a nuevos participantes en la parte de mercancía de hardware de vehículos. Debido a los fuertes efectos de red de las plataformas de sistemas operativos, tener a Google desarrollando software para vehículos autónomos cambiaría las bases de la competencia en esta industria.

Una plataforma de software ganadora para vehículos podría unir un ecosistema de vendedores de aplicaciones que rápidamente iría de cien mil a un millón a cien millones de unidades y causarían total disrupción en la industria del transporte.

Gigantes automotrices como GM, Chrysler y Ford podrían ser el equivalente automotriz a gigantes de la telefonía como Nokia y BlackBerry.

Carros como Servicios: El Máximo Modelo de Negocio Disruptivo

He mencionado que los vehículos autónomos son disruptivos porque, a un nivel particular, ahorran energía, tiempo y dinero; y a un nivel de sociedad: ahorrará tiempo, energía, dinero y vidas.

En resumen, los vehículos autónomos serán disruptivos porque cambiarán profundamente la naturaleza de tener un carro. Los carros dejarán de ser un objeto de deseo para particulares a ser un negocio generador de ganancias.

La mayoría de nosotros no quiere realmente un carro. Solo queremos su movilidad bajo demanda. Es decir, queremos la posibilidad de ir de un punto A hacia un punto B siempre que queramos (o necesitemos) hacerlo. Para la mayoría de las personas, tener un carro es la mejor forma de garantizarse movilidad bajo demanda. Sin embargo, cuando llegue el día en el que los vehículos autónomos puedan recoger y dejar pasajeros en cualquier lugar y momento los carros autónomos pasarán a ser los preferidos. Además, ir de un lugar a otro en un vehículo autónomo será sustancialmente más barato que hacerlo en un carro propio.

Recuerde, no es solo la tecnología lo que es disruptivo. Es el modelo de negocio propiciado por la tecnología, que podría llamarse el modelo de carros como servicios.

Imagine que puede llamar a un carro en cualquier lugar y en cualquier momento y que este aparezca en su puerta en minutos. Compañías como Zipcar, Uber y Lyft proveen versiones de este servicio hoy en día. Imagine que el auto que llega es autónomo en vez de ser conducido por un humano.

Intente esto: Todos los vehículos del mundo son autónomos y todos los dueños de vehículos del mundo los ofrecen a compañías de carros como servicios. ¿Qué tan disruptivo es este escenario?

Hace poco mencione que el pionero del concepto de carros compartidos, Zipcar, calcula que cada carro compartido reemplaza a quince carros regulares³⁰². Asumiendo que todas las personas cambien al modelo de los carros compartidos y el cálculo de 15 a 1 de Zipcar aplique para todo el mundo, las ventas anuales de vehículos se reducirían quince veces. La industria automotriz global vendió 82 millones de unidades en 2012³⁰³. Si estas ventas se reducen 15 veces debido al concepto de carros compartidos, llegarían a 5,5 millones de unidades, es decir, 6,7% de la actual producción de esta industria.

Tres compañías automotrices en el mundo: Volkswagen, Toyota y General Motors, venden más de nueve millones de carros al año. Bajo este escenario, solo una de ellas podría cubrir toda la demanda de carros en el mundo y hacerlo con un margen bastante amplio (eso asumiendo que ninguna de estas compañías haya sido sustituida por los vehículos eléctricos). Cualquier otra compañía automotriz tendría que apagar las luces y regresar a casa. Las olas disruptivas tendrán efectos en toda la cadena de suministros de la industria automotriz. La industria petrolera también se verá afectada.

Dado que el número de carros en el mundo bajará más de 93%, la demanda de gasolina caerá dramáticamente. Los vehículos autónomos serán utilizados por más tiempo que los actuales carros privados, así que la demanda de gasolina no caerá en un 93%. Sin embargo los vehículos autónomos tienen un consumo más eficiente, usan mejor el espacio y no desperdician el tiempo en el tráfico o buscando un lugar para estacionar.

Asumiendo que cada vehículo autónomo consume tres veces lo que un vehículo tradicional, las compañías petroleras verán igualmente reducida su demanda en un 75 a 80%, Matemáticamente solo dos países Rusia y Arabia Saudí, tendrían la disponibilidad de producir la demanda mundial de petróleo.

La red mundial de industrias petroleras y automotrices se verá reducida a dos compañías vendiendo petróleo y una compañía vendiendo carros.

Este escenario es bajo es supuesto de que los carros autónomos usarán motores de combustión interna. Pero hay que recordar que la disrupción de los vehículos eléctricos también se está presentando. La disrupción de los vehículos autónomos se solapará con la de los vehículos eléctricos. Recuerde como las disrupciones del internet y de los teléfonos celulares se solaparon y se completaron así una a la otra. Eventualmente se juntaron para crear el internet móvil.

De acuerdo con Takeshi Mitamura, del centro de investigación de Nissan en Silicon Valley “los vehículos eléctricos son la plataforma natural para los vehículos autónomos”. Mientras que el vehículo eléctrico sustituye a la industria de los carros a gasolina, el vehículo autónomo apoya esta sustitución y se encarga de acabar con lo poco que quede de esta industria.

Dos industrias serán sustituidas. La industria automotriz colapsará y la industria petrolera puede desaparecer como proveedor para los vehículos con motor de combustión (el escenario de los vehículos eléctricos) o puede colapsar en gran proporción (vehículos autónomos con motor de combustión interna) y eventualmente desaparecer por completo (vehículos autónomos y eléctricos). De cualquier forma no es un buen panorama para la industria petrolera.

Incluso si solo márgenes conservadores, por ejemplo, sustituciones de 5 a 1 se dieran luego de la disrupción de los vehículos autónomos, el mercado automotriz colapsará hasta 20 o 30 millones de vehículos al año.

En otras palabras, aun asumiendo que el vehículo eléctrico no sustituya al vehículo a gasolina, los vehículos autónomos harán que la demanda de gasolina se reduzca en un 80% aproximadamente.

Innovación en los Modelos de Negocio

La mayoría de las personas piensa en la disrupción de los mercados en términos de “disrupciones tecnológicas”. A pesar de eso, muchas veces, la fuente disruptiva no es una nueva tecnología per se sino un nuevo modelo de negocio hecho posible gracias a la tecnología.

Considere como Skype sustituyó la industria de las comunicaciones a larga distancia. Muchas compañías tienen acceso a la tecnología de Voz Sobre Protocolo de Internet (VoIP, por sus siglas en internet). Fue el modelo innovador de Skype lo que revolucionó el negocio.

Las compañías de carros han usado el mismo modelo de negocio por cien años. Es algo como esto: nosotros hacemos el carro, nosotros vendemos el carro, nosotros reparamos el carro; repita cada pocos años. La innovación de modelos de negocios más radical de la industria automotriz fue probablemente la introducción del financiamiento de GMAC en 1917. Esta simple innovación ayudó a la industria automotriz a que los propietarios a ir de 8% a 80% (véase Capítulo 2).

En términos de modelos de negocios, la industria automotriz ha tenido muy poco progreso en el último siglo. Pero nuevos modelos de negocios hechos posibles gracias a avances tecnológicos están comenzando a cambiar eso. Después de que un carro se parezca más a una computadora móvil sobre ruedas, las reglas del juego cambiarán radicalmente. El automóvil pasará a ser otro producto que se montará sobre la Ley de Moore. Las mejoras tecnológicas podrán crecer de forma exponencial. En vez de recoger un millón de unidades para reparar un defecto, las compañías de autos llevarán sus nuevos softwares a los vehículos a través de descargas WiFi.

No es descabellado pensar que la industria automotriz tal como la conocemos hoy en día no existirá en una década o dos. ¿Los vehículos eléctricos sustituirán a los vehículos con motor de combustión interna? ¿Una plataforma de software se comerá a Detroit? Me parece que varias sustituciones están por llegar: vehículos eléctricos, software para vehículos y finalmente vehículos autónomos. Además, el compartir carros cambiará radicalmente la forma en que usamos los carros. Al combinar todo esto con nuevos modelos de negocios, el resultado es que la industria de los vehículos tradicionales no tiene nada que hacer. No se trata de sí pasará, se trata de cuándo.

Sustituyendo la Industria de los Seguros para Vehículos

Muchas de las conversaciones acerca de los carros autónomos se dirigen a sí las compañías de seguros permitirán la presencia de carros autónomos en las vías. Estas conversaciones han perdido el enfoque. Las aseguradoras deben estar preocupadas por la disrupción de los vehículos autónomos ya que la centenaria industria de las aseguradoras para vehículos será sustituida.

En el capítulo 3, describí como una compañía llamada Climate Corp, usa datos del clima y de los suelos provistos por el gobierno de Estados Unidos para reunir inteligencia para su producto asegurador en el campo de la agricultura. ¿Cómo pudo una pequeña compañía fundada por dos exempleados de Google si experiencia en el campo de los seguros hacer esto? Mediante datos. Muchos datos. Big Data.

Dan Rimer, un inversionista de riesgo de Climate Corp., explica que “para valorar sus productos, la plataforma de Climate Corp recibe mediciones climáticas de 2,5 millones de localidades y previsiones de grandes modelos climáticos y procesa estos datos conjuntamente con 150 billones de observaciones de suelos para generar 10 trillones de puntos de simulaciones climáticas, requiriendo manejar 50 terabytes de información en vivo en cualquier momento dado”³⁰⁴.

El vehículo autónomo no es otra cosa que una máquina de generación de datos. El carro de Google recoge más de 1 GB de información por segundo³⁰⁵. Dado que los sensores están bajando de precio, los niveles de datos recolectados por estos vehículos aumentarán en órdenes de magnitud. Dado que la cantidad de vehículos autónomos crecerá, la cantidad de datos recogidos por estos aumentará de forma exponencial.

La compañía que recoja estos datos y los analice de forma inteligente, podrá valorar sus productos de seguros con un nivel que las compañías aseguradoras tradicionales solo pueden soñar. Esta compañía puede descargar datos de energía, clima y parking de parte 91.000 bases de datos abiertamente disponibles y gestionadas por el gobierno de Estados Unidos (data.gov). Esta compañía también puede recolectar datos de parte de miles de bases de datos gestionadas por agencias estatales, de condados o de ciudades. Esta compañía sería entonces, capaz de ofrecer y valorar productos aseguradores con precisión milimétrica.

Hoy en día, Zipcar ofrece alquiler de carros de manera accesible e incluyendo seguro, combustible y estacionamiento y Zipcar no tiene acceso a la enorme cantidad de datos que la hipotética compañía tendría. Esta compañía con acceso a estas cantidades enormes de datos, inteligencia artificial y poder computacional, podría ofrecer servicios de carros autónomos con un precio que incluya auto seguros, auto recargas y auto estacionamiento.

Las aseguradoras que no estén listas para esto están acabadas. Ya han sido advertidas.

Capítulo 6:

El Fin de la Energía Nuclear

“No hay una diferencia técnica entre un reactor civil y uno militar y nunca la habrá”

Reporte LA8969MS, UC-16 del Laboratorio Nacional de los Álamos

“Si el mundo tuviese que explotarse a sí mismo, la última voz que se escucharía sería la de un experto diciendo que eso no es posible”

Peter Ustinov

“Cualquier tonto inteligente puede hacer las cosas más grandes, más complejas y más violentas. Se requiere del toque de un genio, y de mucho coraje, para llevar las cosas en la dirección opuesta”

Albert Einstein

El 26 de abril de 1986, el reactor número 4 de Chernóbil explotó. La explosión causó la más grande catástrofe industrial del siglo XX. Nubes con cuatro veces más contenido radioactivo que las producidas por la bomba de Hiroshima volaron a través de Europa y Asia³⁰⁶. Los niveles de radiación eran tan altos que activaron las alarmas de la planta nuclear de Forsmark en Suecia, localizada a 1.100 km (660 millas) de distancia de Chernóbil. El liderazgo soviético y el mundo aprendieron del desastre a partir de científicos que midieron la radioactividad en las nubes de Suecia³⁰⁷.

El 7 de mayo y después el 26 de mayo, el Servicio de Protección Central Contra la Radiación Ionizante de Francia hizo circular sus mediciones de lluvias radioactivas en ese país. No era para preocuparse, de acuerdo a este reporte la radiación era moderada, oscilando entre 500 bequerels por metro cuadrado (Bq/m²) en la parte oriental a 25 Bq/m² al noroeste del país³⁰⁸. Pero de acuerdo con Le Monde, estos números no eran correctos:

En 2005, un mensaje del Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear (IRSN), un sucesor del Servicio de Protección Central Contra la Radiación Ionizante, que reunió la lluvia desde mayo de 1986 mostró una imagen muy diferente: los depósitos de Cesio 137 por sí solos sobrepasaban los 20.000 Bq/m² en ciertas regiones (Alsacia y la zona alrededor de Niza) y en algunos puntos alcanzaban los 40.000 Bq/m².³⁰⁹

Las cifras de radiación publicadas por el gobierno francés en 1986 fueron inventadas. En Francia, las olas radioactivas que llegaron de Chernóbil fueron cerca de mil veces más grandes que lo que el gobierno le indicó a sus ciudadanos.

Las mediciones reales salieron a la luz porque la organización sucesora del Servicio de Protección Central Contra la Radiación Ionizante fue demandada en 2001 por la Asociación Francesa de Sufridores de Enfermedades en la Tiroides. Esta organización acusó al gobierno de falsificar deliberadamente la información y no tomar las mínimas medidas sanitarias que sus vecinos europeos habían tomado (por ejemplo, prohibir ciertas comidas).

El gobierno francés es conocido por haber lastimado a millones de sus ciudadanos para proteger la industria de la energía nuclear.

Después del desastre de Fukushima en febrero de 2011, el gobierno japonés desinformó a sus habitantes de forma similar minimizando la extensión del daño. A pesar del poco mitigado desastre que el mundo vio a través de videos y fotografías que se hicieron virales, a pesar de las mediciones hechas por científicos alrededor del mundo mostrando que los niveles de radiación en Fukushima estaban

a la par de Chernóbil, el gobierno japonés mantuvo a sus propios ciudadanos como rehenes para proteger la industria nuclear.

¿Podría la campaña de desinformación llevada por el gobierno francés repetirse una generación más tarde en Japón? ¿Tomará nuevamente dos o tres décadas para que los ciudadanos japoneses conozcan las dimensiones reales del desastre?

Medios Participativos, Ciudadanos Científicos y una Excursión por la Energía Nuclear

La disrupción que el internet, los teléfonos celulares y las computadoras personales trajeron consigo, dieron a los ciudadanos la posibilidad de crear, recolectar y publicar información. Estas tecnologías permitieron el crecimiento de una cultura participativa.

Usando Twitter, Facebook y Amazon.com, las personas participan y contribuyen con datos, ideas y opiniones; no solo reciben pasivamente contenido de parte de aquellos que están en el poder. La cultura participativa alcanzada hoy en día gracias a la tecnología es lo opuesto a la cultura cerrada, con secretos y jerárquica que caracteriza a la industria nuclear.

Una semana después del 11 de marzo de 2011, día de las fusiones nucleares en Fukushima, una organización sin fines de lucro llamada Safecast publicó su primer sitio web e inició una red de sensores para recolectar y compartir mediciones de radiación. Los voluntarios de Safecast pronto comenzaron a tomar medidas de radiación en Fukushima. Después, comenzaron a tomar medidas en todo Japón y posteriormente en el resto del mundo. Usando una plataforma de hardware libre llamada Arduino y sensores de radiación Geiger de International Alert, Safecast construyó pequeños medidores de radiación móviles con costos menores a \$1.000³¹⁰. Safecast llamó al dispositivo “bGeige”, abreviando “bento Geiger”, porque se asemejaba a una pequeña caja “bento” japonesa. Para obtener fondos para sus equipos y operaciones, la organización obtuvo \$35.000 de parte del sitio de crowdfunding Kiskstarter.

Esto le permitió a Safecast recolectar más datos de radiación que el propio gobierno japonés. A diferencia de los sensores Geiger distribuidos unitariamente por ciudad, Safecast toma datos de medición de radiación con una resolución de 50 a 100 metros (150 a 300 pies) cada cinco segundos. Esta sube los datos cada día como contenido de acceso abierto. Cualquiera puede hacer uso de estos datos sin pagar derechos de usuario u otras limitaciones financieras. En su página

del clima, el gigante de internet Yahoo! Japón, tiene un link que conduce a la información de la radiación de la red de sensores de Safecast.



Figura 6.1: El kit Geiger de \$450 de tamaño similar a un teléfono celular
(Fuente: International Medcom Inc.)³¹¹

Safecast ha subido más de 10 millones de puntos de datos, una cifra que está creciendo de forma exponencial. Esta ha desarrollado una nueva versión de su kit Geiger que se vende por \$450 para sus voluntarios a lo largo del mundo (véase Figura 6.1)³¹².

En ciencias económicas, “la captura regulatoria” se refiere a lo que pasa cuando una agencia de regulación del estado que fue creado para actuar en base a intereses públicos se enfoca más bien en los intereses comerciales o intereses especiales de la industria que deben regular³¹³. En otras palabras, la agencia gubernamental protege a la industria a expensas del público. La captura regulatoria alienta a las compañías a contaminar, no interesarse en la salud o la seguridad y a tomar riesgos financieros a sabiendas que los contribuyentes y los ciudadanos asumirán los costos.

La información abierta puede ser considerada política cuando lleva a la luz capturas regulatorias o secretos. Cuando se le pregunta al cofundador de Safecast si esta es una organización antinuclear, Sean Bonner responde “Safecast no es ni antinuclear ni pronuclear; estamos a favor de la información. La información es apolítica.”

La industria nuclear y las agencias gubernamentales que las protegen no serán ni abiertas ni transparentes en el futuro próximo, pero la información se está convirtiendo en la luz del día que puede iluminar esta industria.

Y la información es clara: la energía nuclear es prohibidamente costosa, muy peligrosa y letalmente contaminante. Citibank publicó un reporte acerca de la energía nuclear titulado “New Nuclear: The Economics Say No”. La energía nuclear es tan costosa que la industria no podría sostenerse sin las regulaciones que crean subsidios de parte de los usuarios y protección gubernamental.

Captura Regulatoria, Desmantelamiento y Costo Prohibitivo de la Energía Nuclear

En febrero de 2013, Margaret Hodge, miembro del parlamento británico, anunció que el desmantelamiento de la planta nuclear Sellafield había alcanzado 65,7 billones de libras esterlinas (110 billones de dólares³¹⁴). El gobierno está gastando 1,6 billones de libras esterlinas (2,6 billones de dólares) del dinero de los contribuyentes cada año, y añade “no hay indicativo de cuando ese costo dejará de crecer”.

Cuando la industria nuclear habla de los costos de la energía nuclear nunca incluye los costos del desmantelamiento (limpieza) de las plantas de energía nuclear. Los desmantelamientos son una fuente inagotable de dinero para la industria nuclear.

El comité gubernamental de cuentas públicas, establecido por la House of Commons, expresó en un reporte que no está claro cuánto tiempo tomará o cuánto dinero costará el desmantelamiento de Sellafield. Ningún desperdicio nuclear ha sido retirado de Sellafield. El desperdicio nuclear está todavía en el sitio. De acuerdo con la Autoridad de Desmantelamiento Nuclear, la agencia a cargo de los planes de desmantelamiento, Sellafield estará recuperándose de los desperdicios nucleares para 2015.

¿Quién paga por el desmantelamiento de plantas nucleares? Para todas las plantas nucleares del mundo hay solo dos respuestas: los contribuyentes y los clientes. Esto no es un asunto británico. Es un asunto nuclear.

En junio de 2013, poco después de que se decidiera cerrar permanentemente la planta nuclear de San Onofre en California, su dueño y operador, Southern California Edison comenzó a transferir casi 5 billones de dólares en costos de reparaciones infructuosas y desmantelamiento a los contribuyentes. Ted Craver, CEO de Edison International, indicó “la forma tradicional, por supuesto, es que todos esos costos pasen a los clientes y los contribuyentes”³¹⁵.

Después de beneficiarse por años, los operadores de las plantas nucleares empaquetan y dan media vuelta, dejando los costos asociados a ordenar su desastre a los clientes y los contribuyentes.

¿Qué pasaría si las normas británicas estuviesen cuidando a las personas a las que están destinadas a cuidar en vez de a la industria eléctrica? ¿Cuánta energía solar se habría comprado con los 110 billones de dólares invertidos en limpiar Sellafield?

Para responder esta pregunta, asúmase que las regulaciones permiten la creación de un mercado relativamente competitivo y los costos de instalaciones solares en el Reino Unido alcancen los de Australia o Alemania. El costo completo de instalación de un sistema residencial de 5 kW en Australia para julio de 2013 fue de \$1,62 (\$1,76 australianos) por vatio, de acuerdo con SolarChoice³¹⁶. Con esos costos se podrían instalar 67,9 GW producidos a partir de energía solar con los 10 billones de dólares (este costo es para energía solar sin subsidios).

En 2012 la demanda energética en el Reino Unido fue de 35,8 GW en promedio³¹⁷. El pico de demanda fue de 57,5 GW. Con estas cifras en mente, los costos de desmantelar una planta nuclear, representan para los contribuyentes el mismo costo de instalar sistemas de energía solar sin subsidios para cubrir el 190% de su demanda energética promedio y el 117% de su pico de demanda.

Sabiendo esto, pensaría que los entes reguladores del Reino Unido pararán la industria nuclear para cambiar a energía solar o eólica.

Captura Regulatoria, Generación y Costo Prohibitivo de la Energía Nuclear

En 2010 una coalición de conservadores y liberales demócratas en el Reino Unido prometió que las nuevas plantas nucleares no recibirían ningún subsidio de los contribuyentes³¹⁸. Tres años después, el gobierno se retractó de su promesa. Este propuso un acuerdo con el cual los precios de venta al por mayor de energía nuclear estarían garantizados por cuatro años con un costo potencial para los contribuyentes de 250 billones de libras esterlinas (407 billones de dólares)³¹⁹. La nueva capacidad nuclear a ser construida sería de 16 GW. Los contribuyentes británicos pagarían hasta 15,6 libras esterlinas (\$25,4) por vatio de capacidad nuclear.

La energía nuclear es el método más costoso para la producción de electricidad. Un vatio generado a partir de energía solar o eólica durante un pico de demanda en Australia cuesta menos de \$2. ¿Por qué comprarían los británicos energía

nuclear por un precio diez veces superior? El Reino Unido no es un lugar soleado, pero Alemania, un país con un clima similar genera energía solar por menos de lo que el gobierno británico espera generar energía nuclear. La energía solar ha reducido los costos de la venta de energía al por mayor en un 40% durante los últimos cinco años en Alemania³²⁰. La energía solar también se está tornando más económica a medida que la energía nuclear se hace más costosa. ¿Por qué el gobierno británico quiere incrementar los costos de la energía al por mayor en detrimento de sus ciudadanos obligándolos a subsidiar la industria nuclear?

La situación empeora.

Los 407 billones de dólares en subsidios no incluyen el costo de limpieza o desmantelamiento de las plantas nucleares. Considere que en su máximo, Sellafield solo cuenta con cuatro reactores generando 60 MW cada uno para un total de 240 MW³²¹. Como mencione anteriormente Sellafield ya ha costado 110 billones de dólares en limpieza³²². La expansión de 16 GW de energía nuclear propuesta por el gobierno es 66 veces más grande que la capacidad de Sellafield. ¿Cuántos billones de dólares costará reprocessar el combustible, limpiar y desmantelar esos reactores en 40 años?

Adicionalmente, los 407 billones de dólares en subsidios nucleares no incluyen el costo de asegurar los reactores contra una fusión nuclear. El Reino Unido es un país pequeño. Un desastre como el de Chernóbil o Fukushima tendría consecuencias catastróficas sobre todo el país, costaría trillones de dólares y se llevaría una cantidad incuantificable de vidas. Entonces ¿Por qué una empresa de servicios consideraría la construcción de una planta nuclear? En tres palabras: protección y subsidios gubernamentales.

Subsidios Nucleares Galore: Los Reactores de Vogtle en Georgia

Cuando la compañía Southern Company radicada en Atlanta, propuso construir dos reactores nucleares en 1976, la compañía manifestó que el costo de construcción sería de 660 millones de dólares. Para el momento que fueron encargados a final de los años 80, su costo fue de 8,87 billones de dólares; trece veces más que el estimado original³²³.

No se ha utilizado más territorio estadounidense para la construcción de plantas nucleares desde entonces. ¿Por qué? La industria nuclear culpa a la fusión del

reactor en Three Island y a lo que llama es un miedo irracional del público hacia la energía nuclear. La evidencia, sin embargo, ofrece otra historia.

La industria nuclear se ha caracterizado por fallas de entrega: sobrecostos, retrasos de construcción y falta de seguridad. La industria nuclear no puede competir con otras formas de generación de energía.

Los reactores nucleares de hoy en día son diez veces más costosos de construir de lo que eran a principios de los años 70. Los costos siguen subiendo. La industria nuclear podría ser la única gran industria del mundo con una curva de aprendizaje negativa. En contraste, los paneles solares fotovoltaicos han mejorado su relación de costos 154 veces desde 1970. La energía solar ha mejorado su relación de costos relativa a la energía nuclear 1.540 veces desde 1970.

El concepto de las curvas de aprendizaje fue introducido en 1936 por T.P. Wright de la industria aeroespacial. La curva de aprendizaje expresa que mientras más se produce un buen servicio, mejor se hace el proceso de hacerlo se hace mejor, de manera que se puede hacer más rápidamente y de mejor forma³²⁴. Los ingenieros han medido las curvas de aprendizaje de muchas industrias. Las curvas de aprendizaje ayudan a los ingenieros a cuantificar las curvas de costos de productos y las escalas de producción en el futuro previsible. Por ejemplo, si la curva de aprendizaje de la construcción de barcos es de 20% y el primer barco costo \$100, cuando la producción se doble, la próxima flota de barcos tendrá un costo unitario de \$80. Cuando la producción se doble nuevamente, los costos bajara a \$64 y así sucesivamente.

Normalmente se pueden encontrar las curvas de aprendizaje de diferentes industrias en los libros y manuales. La Federación de Científicos Estadounidenses ofrece una calculadora online donde se pueden generar curvas de costos y proyectarlos a futuro³²⁵.

Jonathan Koomey de la Universidad de Stanford ha calculado los costos reales de construir plantas nucleares en los Estados Unidos desde 1970 y los resultados son reveladores (véase Figura 6.2)³²⁶. A medida que la industria ha ganado experiencia construyendo reactores nucleares, las plantas se han hecho más costosas.

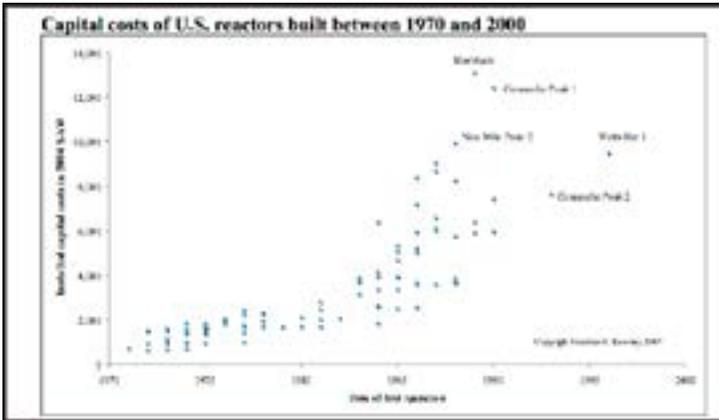


Figura 6.2: Costo real de las plantas nucleares en Estados Unidos entre 1970 y 2000 (Fuente: International Medcom Inc.)³²⁷

El tiempo que toma construir plantas nucleares también se ha extendido. La industria que prometió que la energía sería demasiado barata para ser medida está produciendo energía demasiado costosa para poder competir. El profesor de la escuela de leyes de Vermont, Mark Cooper, ha hecho una profunda investigación sobre la energía nuclear en Estados Unidos y Francia. Entre otras cosas encontró que el tiempo necesario para construir plantas nucleares, se ha alargado considerablemente (véase Figura 6.3)³²⁸.

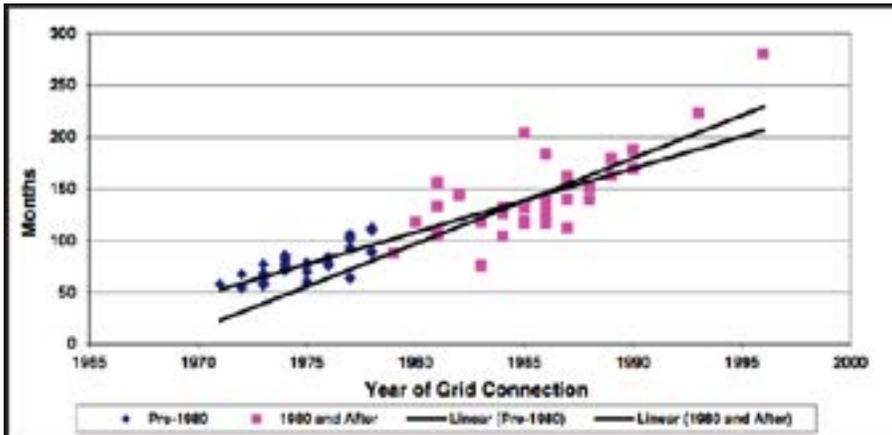


Figura 6.3: Tiempos de construcción en meses de reactores de agua presurizada por año de conexión a la red en Estados Unidos (Fuente: "Nuclear Safety and Nuclear Economics," Mark Cooper, 2012)³²⁹

De acuerdo con el estudio del profesor Cooper, el tiempo necesario para la construcción de plantas nucleares, aumentó desde casi cinco años en 1970 hasta cerca de diez o quince años en 1980. Algunos reactores han requerido más de veinte años para su construcción.

Las Figuras 6.2 y 6.3 muestran que el tiempo de construcción y los costos de los reactores nucleares han aumentado. La industria nuclear es única entre las grandes industrias dado que tiene lo que el experto del clima Joe Romm, un Ph.D en física nuclear del MIT, perspicazmente ha llamado una “curva de aprendizaje negativa”. Mientras más experiencia se adquiere en la producción, más costoso se hace el producto y más tiempo lleva producirlo. Además esta curva de aprendizaje negativa nos es pequeña. Observando los gráficos se evidencia que la industria nuclear ha aumentado sus costos cerca de diez veces desde 1970 y sus tiempos de entrega cerca de cuatro veces desde ese mismo año.

No hace falta un título universitario para entender que una industria con costos que se incrementan y con tiempos de producción que también los hacen, no puede sobrevivir por demasiado tiempo. Especialmente si el producto puede explotar en la cara de los usuarios y literalmente costarles un brazo y una pierna.

No se han proyectado nuevas plantas nucleares después de que los reactores de Vogtle fueron encargados en los años 80 dado que la energía nuclear no es económicamente competitiva. Esta sobrevive porque el gobierno de Estados Unidos le dio a la industria energética la llave para el cofre del tesoro de los contribuyentes en 2005.

En 2005, el congreso de Estados Unidos aprobó 18,5 millones de dólares en nuevas garantías de préstamos para la industria nuclear, de acuerdo con el Instituto de Energía Nuclear³³⁰. La ley energética de 2005 autorizó al Departamento de Energía de Estados Unidos a responder por hasta el 80% del costo de los proyectos en energía nuclear. Adicionalmente podían proveer un seguro de 2 billones de dólares para gastos imprevistos y otro de 1 billón de dólares para créditos de impuestos de producción durante los primeros ocho años de la vida del reactor³³¹. Después de la ley energética de 2005, la industria nuclear estaba segura de su renacimiento. Esperando repetir la fuerte adaptación de la industria nuclear en Francia, la industria nuclear tomó prestada la palabra “renaissance” del francés para describir su renacimiento y comenzó a trabajar.

En 2006, Georgia Power, una subsidiaria de Southern Company, anunció que construiría dos nuevos generadores nucleares de 1,1 GW en Vogtle. La Comisión de Regulación Nuclear de Estados Unidos dio su aprobación y en abril de 2009 el proyecto quebró el suelo. Georgia Power estima que el costo de construcción para los dos reactores sea de 14 billones de dólares. Comenzarán operaciones en 2016 y 2017 respectivamente.

En 2009, el Estado de Georgia aprobó la Ley del Senado 31, que permitía a Georgia Power recaudar de parte de los contribuyentes hasta 2 billones de dólares para el financiamiento de los nuevos reactores nucleares de Vogtle³³². Los contribuyentes estarán financiando la construcción de estas plantas nucleares mientras se están construyendo.

El 6 de Febrero de 2010, la administración de Obama ofreció un préstamo federal de 8,33 billones de dólares para la construcción de los reactores³³³. La construcción del Reactor Número 3 de Vogtle comenzó oficialmente en marzo de 2013 con el vaciado de concreto para la isla nuclear.

La historia de Georgia Power y sus reactores 3 y 4 es un ejemplo de como la industria nuclear usa el dinero de los contribuyentes para la construcción de nuevas plantas. Obsérvese como Georgia Power toma ventaja de su amistosa relación con organismos reguladores y los responsables políticos:

- Préstamo Federal: 8,3 billones de dólares.
- Financiamiento por parte de los contribuyentes: 2 billones de dólares.
- Crédito para impuestos de producción: 1 billón de dólares.

Asumiendo que los reactores 3 y 4 de Vogtle representen menos de lo presupuestado y realmente generen energía, 11,3 billones de los 14 billones de dólares de los costos de construcción de los reactores vendrán de parte de los contribuyentes.

Pero no se puede esperar que estos proyectos terminen en el tiempo estipulado o con costos menores de los proyectados. Recuerde que los reactores 1 y 2 de Vogtle costaron 13 veces más de lo originalmente proyectado. Los reactores 3 y 4 ya están en proceso y llevan dos años de retraso y 2 billones de gastos por encima del presupuesto. El presupuesto para el proyecto 16,5 billones de dólares y abrirá operaciones en 2018 y 2019³³⁴.

¿Alguien está sorprendido de que un proyecto nuclear cueste más de lo proyectado y se retrase? Esta industria tiene una patológica tendencia a hacer demasiadas promesas y fallar en cumplirlas. Cada planta nuclear de Estados Unidos ha sido entregada con demora y con gastos por encima del presupuesto inicial, o en su defecto ha sido cancelada.

De acuerdo con la oficina de presupuesto del congreso, las 75 plantas nucleares construidas entre 1966 y 1986 fueron tres veces más costosas de lo que habían sido originalmente proyectadas³³⁵.

Por otra parte, de las 253 plantas nucleares que fueron originalmente ordenadas entre 1953 y 2008, 121 de ellas (48%) fueron canceladas antes de su

completación³³⁶. De las 132 plantas que fueron construidas, 21 fueron completamente cerrados por problemas de confiabilidad o costos de operación, mientras que otras 27 tuvieron fallos graves al menos una vez durante su primer año, todo esto de acuerdo a Amory Lovins, experto energético de Rocky Mountain Institute³³⁷. Lovins además complementa que “muchas plantas nucleares son rentables actualmente, porque sus operadores actuales las compraron por menos de su costo real”³³⁸.

El Washington Public Power Supply System Service, ahora llamado Northwest Energy, ordenó cinco plantas de energía nuclear a comienzos de los años 70. Demoras y sobrecostos obligaron a la empresa de servicios a cancelar dos de las cinco plantas, detener la construcción en otras dos e incumplir con 2,25 billones de dólares, el mayor incumplimiento de bonos municipales en la historia, para ese entonces³³⁹. Solo una de las cinco plantas la Estación de Generación de Columbia está operando en la actualidad³⁴⁰.

La portada de la revista Forbes del 11 de febrero de 1985 mostraba un artículo con el título “tontos nucleares” donde se decía “El fallo de la industria nuclear estadounidense podría ser el más grande desastre gerencial de la historia de los negocios, un desastre de escala monumental... Nadie puede ahora pensar que el dinero fue bien gastado. Es una derrota para el consumidor estadounidense y para la competitividad de la industria estadounidense”.

¿Esta Georgia Power preocupada por haber sobrepasado su presupuesto? Para nada La ley energética del 2005 convenientemente le permite usar 2 billones de dólares del dinero de los contribuyentes para cubrir sobrecostos. De manera que para Vogtle, el cofre de tesoro en subsidios de contribuyentes sigue incrementándose:

- Préstamo Federal: 8,3 billones de dólares.
- Financiamiento por parte de los contribuyentes: 2 billones de dólares.
- Crédito para impuestos de producción: 1 billón de dólares.
- Protección para sobrecostos: 2 billones de dólares.

Perdónenme si esto me recuerda a los préstamos de Wall Street a “Mickey Mouse” que condujeron a la gran caída de 2008 y que se llevó a la economía mundial hacia abajo con ella.

La industria nuclear ha demostrado que no es capaz de entregar a tiempo su caro producto. La energía nuclear es una industria que no es competitiva y tiene una curva de aprendizaje negativa. Si la el mercado energético se hubiese regido

únicamente por fuerzas de mercado, la industria nuclear habría salido del negocio hace varios años.

La única manera en que la industria nuclear puede mantenerse es recibiendo subsidios de los contribuyentes. Tristemente, algunos gobiernos están contribuyendo a que esto pase. La administración de Obama, en su presupuesto de 2012 pidió triplicar el programa de préstamos para la industria nuclear de 18,5 billones de dólares a 54,5 billones de dólares³⁴¹.

Asegurando lo Inasegurable: Rescate de la Energía Nuclear por Parte de los Contribuyentes

A pesar de lo costosos y dolorosos que son los subsidios y las protecciones del gobierno para la industria nuclear, es posible que el subsidio más costoso aún no haya llegado: seguros para la industria nuclear. En Estados Unidos, los seguros para la industria nuclear se enmarcan dentro del nombre de Price-Anderson Nuclear Industries Indemnity Act. A pesar de todas las fallas de la industria nuclear hasta el momento, el rescate, o en otras palabras asegurar la industria nuclear, es un área donde dónde fallar puede representar no solo la quiebra de una compañía sino de una nación entera.

De acuerdo con la International Air Transport Association, en 2009, hubo un accidente por cada 1,4 millones de vuelos con aviones de reacción de Western-built³⁴². Basado en estas cifras, un usuario tiene una probabilidad de 0,00007% de sufrir un accidente aéreo. Por otra parte, 1,5% de todos los reactores nucleares que han sido construidos han sufrido una fusión nuclear, de acuerdo con el profesor de Stanford Marc Jacobson³⁴³. La probabilidad de un accidente nuclear es prácticamente 1 millón de veces más grande que la de tener un accidente aéreo.

Ahora imagine que está apunto de abordar junto con su familia un vuelo que tiene 1,5% de probabilidad de tener un accidente. ¿Tomaría ese avión?

El desastre nuclear de Fukushima nos ha recordado una vez más que la energía nuclear no es segura.

El desastre de Fukushima fue una tragedia de proporciones no vistas desde el desastre de Chernóbil. El gobierno japonés no ha sido abierto en cuanto al costo humano, ambiental y financiero de esta tragedia. Por el contrario, el primer ministro japonés Shinzo Abe ha acelerado la generación de regulaciones que eviten que el público acceda a información referente al accidente que todo burócrata

considera un “Secreto de Estado”. De acuerdo con el profesor de ciencias políticas de la Universidad de Sophia, Koichi Nakano, “ésta puede haber sido la verdadera intención de Abe; cubrir la información acerca de acciones erradas del gobierno en relación a el desastre de Fukushima y/o la necesidad de energía nuclear”³⁴⁴.

Después de décadas de palabras del gobierno asegurando que la energía nuclear es segura, limpia y barata, los japoneses están pagando por el desastre no solo con sus vidas y su salud, sino con sus carteras. Los contribuyentes japoneses han aprendido por el camino difícil lo que pasa cuando una nación asegura la industria nuclear contra cualquier accidente de gran magnitud.

Pero el asegurar a la industria nuclear a través de los contribuyentes, no es un asunto japonés. Es asunto de la regulación nuclear. Si hay una planta nuclear en su país, entonces usted también se encuentra en el negocio de los seguros para la energía nuclear. ¿Sabe que tan grande es su responsabilidad?

En Estados Unidos, el congreso ha decidido que los contribuyentes son responsables por desastres nucleares. Es la ley de las tierras. Se llama Price-Anderson Nuclear Industries Indemnity Act.

El Congreso la aprobó en 1957 en un esfuerzo por proteger la naciente industria nuclear civil. En 1957, la industria aseguradora privada no contaba con suficiente información para valorar adecuadamente los servicios para una planta nuclear. Pero la industria nuclear ha crecido y madurado desde 1957. Hoy en día, más de 430 reactores en 31 países proveen 370 GW de capacidad nuclear, de acuerdo con la Asociación Nuclear Mundial³⁴⁵. La industria nuclear ha alcanzado altas tasas de penetración en Francia, Japón, Rusia y Estados Unidos. Francia tiene 59 reactores nucleares que generan cerca del 75% de la electricidad de ese país³⁴⁶. Antes del desastre de Fukushima, Japón tenía 50 reactores que generaban cerca del 30% de la electricidad del país³⁴⁷. Estados Unidos tiene 100 reactores que generan cerca del 19% de la electricidad del país³⁴⁸.

El mundo ha estado construyendo, operando, manteniendo y generando energía nuclear por seis décadas. Las aseguradoras privadas cuentan con suficiente información para cuantificar la seguridad de las plantas nucleares. ¿Las compañías aseguradoras privadas Tienen suficiente información para crear productos aseguradores para las plantas nucleares, cierto? Si, tienen la información, pero no, no aseguraran la energía nuclear. Ninguna aseguradora en el mundo ha dado un paso al frente para responsabilizarse por los costos totales de un desastre nuclear. Las aseguradoras privadas aseguran cosas como la nueva Freedom Tower, que fue construida luego de los ataques terroristas al World Trade Center. Las aseguradoras privadas aseguran cosas ante el riesgo de huracanes o terremotos. Pero ninguna aseguradora privada entrará en el campo de la energía nuclear.

Asúmase por un momento que existe un mercado para los seguros en el campo de la energía nuclear, de la misma manera que hay un mercado para los vehículos o las plantas de energía solar. ¿Qué prima cobrarían las aseguradoras para proteger las plantas de energía nuclear?

El gobierno de Alemania (donde también los contribuyentes aseguran la energía nuclear) ha ordenado un estudio para responder a esa pregunta. El reporte de abril de 2011, concluyó que para que una compañía aseguradora privada generase una cobertura sobre una planta nuclear, la prima sería de 0,139 euros por kWh (19,9 centavos de dólar por kWh) a 2,36 euros por kWh (\$3,39 por kWh)³⁴⁹.

Para colocar esas cifras en contexto, la ciudad de Palo Alto tiene un contrato de compra a 25 años en el cual paga 6,9 centavos de dólar por kWh de energía solar³⁵⁰. De manera que el precio total que Palo Alto paga por cada unidad de energía solar es cerca de un tercio del menor estimado para la prima de que un productor de energía nuclear tendría que pagar por cada unidad de energía.

Otra forma de mirarlo es: los productores de energía solar independientes que surten a Palo Alto tienen que pagar costos de capital, de instalación, de gestión, de aseguradoras, de operación y mantenimiento, impuestos, permisos y otros costos. Después de todo esto se genera una pequeña ganancia al vender la energía a Palo Alto por 6,9 centavos de dólar por kWh. Todos estos costos juntos, solo representan un tercio de los costos que tendría la prima por unidad energética para los productores de energía nuclear al asegurar su infraestructura. Y esto aplica para las aseguradoras de gama baja (19,9 centavos de dólar por kWh). Si se toma el estimado para la gama alta (\$3,39 por kWh) el costo total de la energía solar es cincuenta veces más bajo que la prima para asegurar la energía nuclear.

La energía nuclear no es asegurable. Cuando las empresas de servicios y las agencias de regulación hablan acerca de los costos de la energía nuclear, no hablan de los subsidios para seguros que provienen de los contribuyentes. El costo de un desastre como el de Fukushima o Chernóbil no está tabulado en las hojas de cálculo cuando el costo de la energía nuclear es calculado.

No hay dudas de por qué la industria nuclear quiere mantener los subsidios de los contribuyentes para sus servicios de seguros. La energía nuclear no es económicamente viable. Tener que pagar por seguros (si hubiese disponibilidad en el mercado) sacaría a la energía nuclear del negocio de forma inmediata e irrevocable.

El reporte alemán también concluyó que el costo esperado para un desastre nuclear sería de 5.756 trillones de euros (8,27 trillones de dólares). El producto interno bruto de Alemania en 2012 fue de 3,4 trillones de dólares de acuerdo al

Banco Mundial. El costo de un desastre nuclear en Alemania, de acuerdo al reporte, sería 2,4 veces su el tamaño de su economía³⁵¹. En otras palabras, un simple desastre nuclear podría llevar a la quiebra a la más grande economía europea y la quinta más grande del mundo.

La energía no es solo prohibitivamente costosa, también podría llevar a la quiebra a un país entero. Además, mientras más pequeña es la economía de un país, más rápido se presentaría el colapso. El PIB de Rusia es de 2 trillones de dólares, pero a finales de los años 80, era cercano a 500 billones de dólares³⁵². Michael Gorbachov dijo que “probablemente el desastre de Chernóbil fue la razón del colapso de la Unión de Repúblicas Soviéticas cinco años más tarde”³⁵³.

Por otra parte, los desastres nucleares no se pueden contener en las inmediaciones del suceso. Gorbachov indicó que “inicialmente pensamos que las principales consecuencias de la explosión se sufrirían en Ucrania, pero Bielorrusia al noroeste fue golpeada aún con más fuerza, asimismo Polonia y Suiza sufrieron las consecuencias”.

El Espiral de la Muerte de la Energía Nuclear

Ante unos datos tan desalentadores, los alemanes decidieron cerrar ocho reactores nucleares inmediatamente después del desastre de Fukushima y esperan cerrar todos los reactores para el 2022. Mientras tanto, han acelerado lo que es el más ambicioso programa de energía limpia en el mundo, un programa basado en generación de energía solar y eólica, eficiencia energética y vehículos eléctricos.

La mayoría de los países europeos también han acelerado el proceso de clausura que la industria nuclear, que iniciaron luego del desastre de Chernóbil en 1986. En Italia se llevó a cabo un referéndum en junio de 2011, en el cual 95% de los votantes firmemente rechazaron la propuesta del primer ministro para iniciar un nuevo programa nuclear³⁵⁴. Global Data que 150 de las 186 plantas de energía nuclear de Europa (80%) sean cerradas para 2030³⁵⁵. Las cincuenta plantas nucleares de Japón ya cerraron. Los ciudadanos japoneses recolectaron ocho millones de firmas para rechazar el programa del gobierno para reiniciar su programa de energía nuclear³⁵⁶. A pesar de la masiva oposición a la energía nuclear, el gobierno japonés probablemente abrirá nuevamente algunos reactores. Sin embargo, el programa de energía nuclear japonés ya se encuentra en su lecho de muerte.

La actual flota de plantas de energía nuclear en Estados Unidos se está haciendo vieja, más ineficiente, más costosa para su operación y mantenimiento, y cada vez

menos competitiva. Un reporte presentado por el banco de inversiones Credit Suisse indica que el número de días de parada en las plantas de energía nuclear ha aumentado de forma significativa (véase Figura 6.4). Este incremento en los días de parada ha incrementado los costos de reparaciones y mejoras. La planta nuclear San Onofre, por ejemplo, cerró en 2011 para que sus generadores de vapor deficientes pudiesen ser reparados. Después de gastar \$670 para las reparaciones, los generadores de vapor fueron considerados irreparables. San Onofre no ha sido reportada ni agendada para ser desmantelada.³⁵⁷³⁵⁸

Los costos de operación y mantenimiento han aumentado en un factor anual de 4,8%, los costos de los combustibles un 9,1% por año entre 2007 y 2011; y estos costos están anticipados a seguir aumentando en el futuro previsible en un 5% anual de acuerdo con el reporte de Credit Suisse³⁵⁹.

Un análisis hecho por Mark Cooper de la Escuela de Leyes de Vermont listo 38 plantas nucleares que están en “riesgo de clausura” solo por razones económicas, de las cuales diez enfrentan “retos intensamente particulares”³⁶⁰. Casi todas estas plantas se encuentran entre las 47 plantas nucleares que tienen que competir diariamente en los mercados abiertos al por mayor de Estados Unidos³⁶¹.

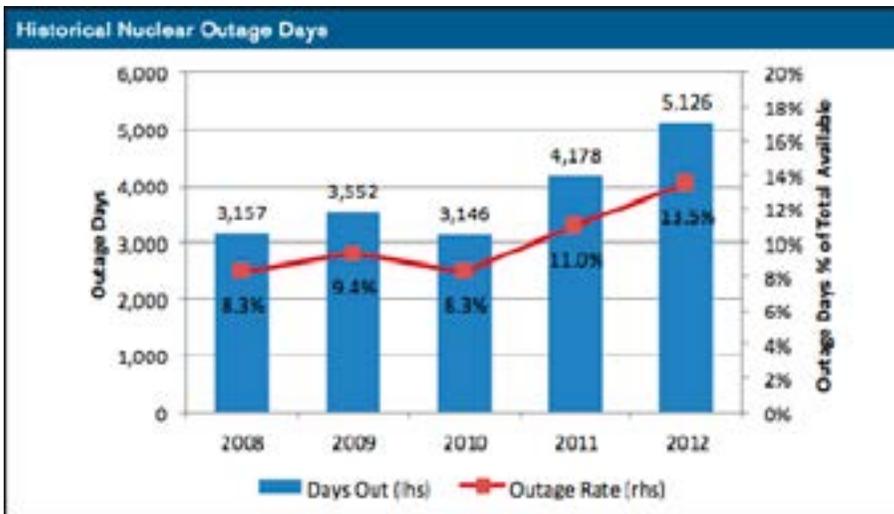


Figura 6.4: Registro de los días de parada de la industria nuclear estadounidense (Fuente: Credit Suisse)³⁶²

De acuerdo con estos análisis, casi la mitad de las plantas nucleares en Estados Unidos cerraran próximamente por razones meramente económicas.

Incluso las plantas nucleares que se encuentran en ambientes con regulaciones amistosas enfrentan otra razón para su desaparición: la disminución de los precios en horas pico debido a la alta penetración de la energía solar. Los precios en las horas pico, muchas veces son bastante más altos que durante los periodos regulares; esto les da altos márgenes de oportunidad a las plantas nucleares. Pero los precios picos se dan en los días más soleados, que es precisamente cuando la producción de energía solar es más eficiente. ¿Puede la energía nuclear hacer dinero en los periodos regulares? De acuerdo con Credit Suisse “La energía nuclear luchará por tener rendimientos positivos en el mercado fuera de horas pico”³⁶³.

El gigante nuclear francés Electricité de France (EDF), el más grande operador nuclear del mundo, decidió salirse del mercado estadounidense³⁶⁴. EDF invirtió seis años y 2,7 billones de dólares en el “renaissance” de la energía nuclear que ya nadie espera. El jefe financiero de EDF, Thomas Piquemal, dijo que “este fue el último capítulo de su aventura en Estados Unidos”.

El 16 de diciembre de 2013 USEC (anteriormente conocido como Uranium Enrichment Corporation) la única empresa de enriquecimiento de uranio de los Estados Unidos en el mercado, anunció que entrará en quiebra³⁶⁵. USEC ha recibido 257 millones de dólares en ayudas de parte del Departamento de Estado de Estados Unidos durante los dos años previos a su proyecto American Centrifuge, un proyecto de centrifugado de uranio que esperaba servir para abastecer las plantas nucleares. Se esperaba que el proyecto estuviese completado en 2005 y costará 1,7 billones de dólares. A pesar de esto, se espera que el costo final sea de 6,5 billones de dólares y que no esté listo hasta 2016. Un mes antes de su anuncio de quiebra, la compañía declaró “con los precios actuales del mercado, no creemos que nuestros planes de comercialización sean económicamente viables sin ayuda adicional de parte del gobierno”³⁶⁶. ¿Alguien resulta sorprendido cuando un proyecto nuclear no es financieramente viable? ¿Cuándo se retrasa doce años y sus costos llegan a ser cuatro veces los originalmente proyectados?

Dado que la energía solar y eólica incrementa su penetración nacional, la energía nuclear está acabada. Nuevas plantas nucleares como Vogtle, asumiendo que sean efectivamente construidas, no tendrán disponibilidad para competir en mercados abiertos. Estas nuevas plantas nucleares tienen previsto producir electricidad a un precio nada competitivo, entre 25 y 30 centavos de dólar por kWh³⁶⁷. El precio promedio de la electricidad al por menor en Estados Unidos para uso residencial fue de 12,5 centavos de dólar por kWh en septiembre de 2013³⁶⁸. Así que el precio de venta de la energía producida en estas nuevas plantas nucleares, cuando sean construidas (si se llega a concretar su construcción) será el doble del precio de mercado en el cual competirán. Añadiendo el costo de transmisión, distribución y las ganancias de las empresas de servicios, el precio final de venta

puede alcanzar el triple del valor de mercado. En contraste el precio de la energía solar está disminuyendo aceleradamente. El proyecto Macho Springs venderá energía solar a El Paso Electric por 5,79 centavos de dólar por kWh³⁶⁹. Eso es cerca de cinco veces menos del precio ofrecido por las nuevas plantas nucleares.

Cuando la empresa de servicios radicada en Chicago, Exelon anunció que estaba desechando su proyecto de reactor nuclear en el condado de Victoria, Texas, la compañía indicó que todo se basaba es economía “las condiciones económicas y del mercado hacen que la construcción de nueva mercancía nuclear, no sea económicamente viable ni ahora ni en el futuro previsible” indicó la compañía³⁷⁰. John Roe, CEO de Exelon, una compañía con un portafolio que para el momento era 93% nuclear, también rechazó el llamado renaissance nuclear. “No se engañen pensando que la energía nuclear es económica. Construir capacidad nuclear requeriría 300 billones de dólares in prestamos federales y otros subsidios”³⁷¹.

Cuando EDF empacó y abandono el mercado estadounidense, la compañía aterrizo directamente en Londres, donde es gobierno británico ha prometido por un período de 35 años, apoyar a la industria nuclear con un precio que es el doble del actual precio al por mayor de la electricidad³⁷². La Comisión Europea ha calculado cuanto deben subsidiar los contribuyentes una planta que será construida por EDF en Hinkley Point, y la cifra fue 17 billones de libras esterlinas (27,8 billones de dólares). Dicho número no incluye el desmantelamiento, la limpieza y el seguro de los reactores de Hinkley Point. EDF ha dicho que sin esta reforma (subsidios de los contribuyentes) las inversiones en Hinkley Point no se llevarán a cabo. El comisionado de energía de la Unión Europea, Günther Oettinger, catalogó el proyecto nuclear de EDF en el Reino Unido como de “estilo soviético”.

La reducción de la capacidad nuclear está conduciendo a una espiral de la muerte. El anunciado renacimiento de la industria nuclear nunca ocurrió. En cambio lo que se está viviendo es la “re-muerte” de la industria nuclear.

Disrupción de los Zombis Nucleares

La energía nuclear es como un zombi, no está demasiado viva pero aun así no está muerta. El gran peligro con los zombis es que quieren succionar la vida de lo que sí está vivo. La energía nuclear depende de los subsidios de los contribuyentes y siempre lo ha hecho. La industria nuclear ha logrado posicionar la energía nuclear como una alternativa limpia a los combustibles fósiles y conseguir así aún más subsidios. Se puede engañar a la mayoría de la gente la mayoría del tiempo, pero realidades letales como la de Fukushima y la realidad del mercado

para una industria que no es competitiva, son muy difíciles de esconder en mercados abiertos y en sociedades abiertas.

Sin embargo, durante el proceso de construcción de un gran mercado en Estados Unidos y Europa, una masa crítica de ingenieros, académicos y proveedores se han integrado a la industria nuclear. Como la industria se encoge, estos ingenieros y académicos emigrarán a mejores trabajos en cualquier otro sector; los nuevos talentos universitarios no buscarán hacer carreras en una industria que se está hundiendo. Los proveedores saldrán del negocio o cambiarán a otros sectores. Tener menos proveedores enfocados en la energía nuclear, derivará en costos aún más elevados, demoras más prolongadas y la pérdida de cualquier economía de escala que pudiera haberse presentado. La investigación y el desarrollo tendrán que enfocarse en menos reactores, los que elevará los costos de cada unidad de energía producida.

El resultado final, será una industria prohibitivamente costosa obligada a subir sus precios aún más. La industria también será cada vez más dependiente de subsidios y protecciones gubernamentales cada vez más altas. Una industria que alguna vez fue atractiva, ya no atraerá al talento de la ciencia y la ingeniería, lo que implica menos avances tecnológicos y más problemas de calidad, lo que en la industria nuclear se traduce en más problemas de seguridad, y esto a su vez en accidentes catastróficos.

La industria nuclear ha entrado en el vicioso ciclo de la muerte de su mercado.

La energía solar y eólica ven como su calidad y tasa de mercado siguen creciendo, mientras que sus costos decrecen. Como los costos decrecen y derrotan así a la energía nuclear en mercados de electricidad al por menor y al por mayor, más plantas nucleares tienen que ser clausuradas por motivos económicos.

Anteriormente en este capítulo, se mencionó que la energía solar había mejorado su relación de costos relativa a la energía nuclear 1.540 veces. Se espera que los costos de la energía solar caigan otros dos tercios para el año 2020. Incluso si los costos de la energía nuclear no se ven incrementados (un escenario poco probable), la energía solar habría mejorado su relación de costos relativa a la energía nuclear seis veces o más.

Como para cualquier industria que ha sido sustituida, la espiral de la muerte para la industria nuclear terminará rápidamente (aunque no sin dolor). De acuerdo con David Crane, CEO de NRG Energy, Estados Unidos necesitará “solo un puñado de cabezas nucleares, que serán necesarias para seguir funcionando como plantas de carga base”. Esto representa una caída del 95% en el número de plantas nucleares en Estados Unidos.

En vez de colocar dinero en el agujero negro nuclear, NRG está invirtiendo en energía solar. La compañía está desarrollando proyectos solares a gran escala, como la planta solar de 377 MW en el desierto de Mojave en California. La compañía también está invirtiendo en proyectos de paneles solares fotovoltaicos distribuidos a lo largo de todo el país³⁷³.

La carga base a partir de energía solar está disponible. Probablemente no sean necesario contar ni siquiera con el “puñado de cabezas nucleares” de David Crane. Kevin Smith CEO de SolarReserve, le comentó a mi clase en la Universidad de Stanford que la carga base generada a partir de energía solar ya era más económica que nuevas plantas nucleares. Localizada a mitad de camino entre Las Vegas y Reno, la nueva planta solar de SolarReserve en Crescent Dunes, Nevada, tiene capacidad de almacenamiento de diez horas, de manera que puede vender energía de acuerdo a la demanda. SolarReserve tiene un contrato por 25 años con NV Energy para vender energía en períodos de pico de demanda por 13,5 centavos de dólar por kWh. La planta de SolarReserve es la primera de su estilo en Estados Unidos, Kevin Smith espera que reduzca los costos a la mitad en los próximos años. A partir de 2014, Nevada Power Company iluminará el aviso de Las Vegas con energía solar. Lo que pasa en las Vegas será iluminado con energía solar.

El fin de la energía nuclear será el fin de un engaño popular; que la “industria nuclear civil” es una industria viable. Tendremos que pagar por generaciones para limpiar el error nuclear en sitios como Sellafield, Chernóbil y Fukushima. No debe perderse de vista que la energía nuclear ya es obsoleta. La industria nuclear está implosionando por es demasiado costosa, demasiado peligrosa y demasiado sucia. Hay que dejar ir a este zombi antes de que cause más daños irreversibles a los vivos.

Capítulo 7:

El Fin del Petróleo

***“Cuando los vientos de cambio soplan, algunos construyen paredes,
otros construyen molinos de viento”***

Proverbio Chino

***“Yo pondría mi dinero en el sol y la energía solar.
¡Qué gran fuente energética! Espero que no tengamos que esperar hasta
que se acabe el carbón para poder abordarla”***

Thomas Alva Edison, 1931

***“La edad de piedra no se terminó por la falta de piedras,
y la edad del petróleo se terminará antes de que se acabe el petróleo”***

Sheik Ahmed Yamani, Ex Ministro de Petróleo de Arabia Saudita

El 11 de mayo de 2011, Arabia Saudí anunció que se embarcará en un proyecto a veinte años con un costo de 109 billones de dólares para desplegar 41.000 MW de energía solar (la capacidad pico de 41 plantas de energía nuclear)³⁷⁴. Este reino quema 523.000 diariamente para producir electricidad y desalinizar agua. Para 2030, con el crecimiento de su población, actividad económica y demanda energética, Arabia Saudí podría quemar 850 millones de barriles de petróleo al año, o el 30% de su producción de crudo, para generar electricidad, de acuerdo con Abdullah Al-Shehri de Electricity & Co-Generation Regulatory Authority³⁷⁵.

El proyecto de electrificación masiva a partir de la energía solar de Arabia Saudí tiene sentido económico. El costo de generar electricidad y desalinizar agua con tecnologías solares es una pequeña fracción (10 a 20%) de lo que costaría usando energía proveniente del petróleo. En vez de quemar petróleo que puede ser vendido por \$100 o más por barril en el mercado abierto, los saudíes utilizarán energía solar, la cual produce electricidad por una fracción de costo, el equivalente a menos de \$20 por barril.

La edad de piedra no se terminó por la falta de piedras. Se terminó porque las rocas fueron sustituidas por una tecnología superior: el bronce. De forma similar, la edad del petróleo no se terminará porque se acabe el petróleo. Se terminará porque el petróleo será sustituido por tecnologías superiores; energía solar y vehículos eléctricos y autónomos, y el modelo de negocio que estas activarán.

Arabia Saudí, el mayor productor de petróleo en el mundo, ha visto la luz y está mostrando el camino para abandonar la era del petróleo.

Mejora Exponencial en la Relación de Costos de la Energía Solar Relativa al Petróleo

Para Arabia Saudí lo mejor es apurarse. A pesar de lo acertado que es su plan de generar 41 GW a partir de energía solar, probablemente no tenga otros veinte años de ganancias asociadas al petróleo para financiarlo. La energía solar ha mejorado su relación de costos relativa al petróleo de forma exponencial, esta ventaja seguirá aumentando durante los próximos años.

Imagine un mundo donde el precio del petróleo siguió la misma curva de costos de la energía solar. En 1970, el petróleo costaba \$3,18 por barril³⁷⁶ y la gasolina era vendida por \$0,36 por galón en Estados Unidos³⁷⁷. Si el petróleo hubiese disminuido los costos a la misma tasa que lo ha hecho la energía solar, un barril de petróleo costaría 2 centavos y un galón de gasolina costaría \$0,00234. Cuatro

galones de gasolina costarían alrededor de un centavo de dólar. En este universo imaginario, se podría llenar un tanque de gasolina de 15 galones con 3,5 centavos. En vez de esto, el petróleo se vende a más de \$100 por barril y llenar un tanque de gasolina cuesta cerca de \$50.

En el mundo real, los paneles solares fotovoltaicos son 154 veces más baratos hoy de lo que eran en 1970 (los costos pasaron de \$100 por vatio a 65 centavos de dólar por vatio), mientras que el petróleo es 35 veces más costoso (el petróleo paso de \$3,18 por barril a \$110 por barril) (véase Figura 7.1). Al combinar estos números se tiene que la energía solar ha mejorado su relación de costos relativa a la del petróleo 5.335 veces.

Si alguien piensa que una industria puede competir con una tecnología que ha mejorado su relación de costos relativa a la de esta industria más de cinco mil veces, claramente esta persona está en proceso de negación acerca de la inminente disrupción.

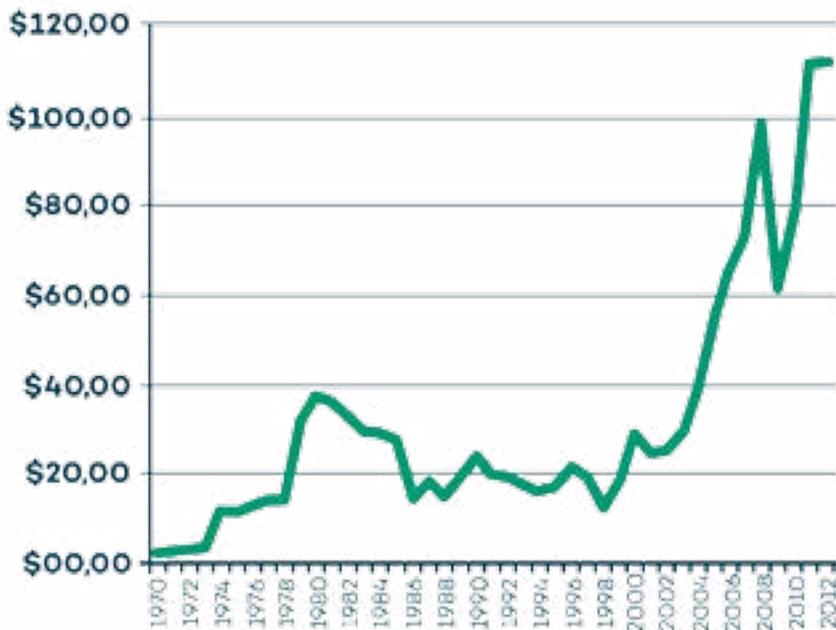


Figura 7.1: Precios del petróleo crudo en dólares por barril (Fuente: BP Statistical Review of World Energy)³⁷⁸

En una industria que está a punto de ser sustituida, una compañía tiene tres opciones:

- Fuera. Es decir, vende a precios altos mientras puedas hacerlo.
- Invertir en la industria disruptiva.
- Morir.

El Reino de Arabia Saudí ha escogido las opciones 1 y 2. Los saudíes están vendiendo petróleo con altos precios de mercado mientras que invierten en una nueva infraestructura energética basada en la energía solar, la tecnología disruptiva.

Las cosas se van a poner peor para el petróleo. Los costos de los paneles solares fotovoltaicos están proyectados a caer otros dos tercios para el 2020. Asumiendo que el petróleo se mantenga a \$110 por barril, esto significaría que la energía solar habría mejorado su relación de costos relativa al petróleo cerca de 12.000 veces.

El petróleo es producto con dimensiones geopolíticas, lo que hace que cualquier predicción de precios sea muy poco confiable. Pero, sin importar el escenario que se anticipe, el petróleo está en problemas por causa de la energía solar. Puede pensarse que el petróleo regresará a costar \$55 por barril o que llegará a costar \$220 por barril para el 2020, y de igual manera la energía solar habrá mejorado su relación de costos relativa seis mil o veinticuatro mil veces. De cualquier manera, el petróleo será sustituido.

Si usted piensa que la energía solar no puede competir con el petróleo, piénselo de nuevo. El petróleo sufrirá la disrupción a causa de tres olas disruptivas complementarias:

1. El vehículo eléctrico sustituirá a los vehículos con motor de combustión interna. El vehículo eléctrico hará que la gasolina y el diésel sean inútiles para el transporte. (véase Capítulo 4).
2. Los vehículos autónomos harán que el transporte sea ultra eficiente, se reducirá de desperdicios y de la flota de carros alrededor del mundo probablemente en un orden de magnitud. (véase Capítulo 5).
3. Los paneles solares fotovoltaicos desplazarán a el petróleo como fuente energética en la generación de potencia (diésel) y el calentamiento e iluminación (kerosene), las cuales aún proveen energía cara para billones de personas en todo el mundo. La energía solar ya es más barata que el diésel y el kerosene.

El Fin de las Arenas Petrolíferas de Canadá

Algunos de los proyectos petroleros más destructivos ambientalmente son también financieramente costosos. El proyecto de las Arenas Petrolíferas Canadienses será pronto un activo varado no porque sea ambientalmente destructivo sino porque es económicamente inviable.

Para apoyar las inversiones de capital necesarias para proyectos de perforación mar adentro o de arenas petrolíferas, el precio de mercado debe ser consistentemente alto. Por ejemplo, cuesta entre 65 y \$100 por barril la producción petrolera en las arenas petrolíferas canadienses³⁷⁹. El precio real por barril dependerá del tipo de proyecto y de la tecnología utilizada. Para nuevos proyectos de accionamiento por vapor, el punto de equilibrio (El precio mínimo de mercado requerido por los inversionistas para tener ganancias) es entre 65 y \$70, para proyectos mineros el precio de equilibrio está entre 90 y \$100, de acuerdo con Wood Mckensie, una firma de consultores. Las arenas petrolíferas de Alberta necesitarán cerca de 650 billones de dólares en capital de inversionistas durante la próxima década, de acuerdo con el Ministro de Recursos Naturales de Canadá, Joe Oliver³⁸⁰.

Los inversionistas quieren los más altos rendimientos para sus capitales de inversión. Si ellos no creen que el precio del petróleo estará consistentemente por encima del punto de equilibrio, no les parecerá racional invertir. Si los inversionistas prevén que el precio del petróleo sea de \$50 por barril (en el futuro previsible), las arenas petrolíferas de Canadá no serán desarrolladas por falta de inversionistas. Si los inversionistas prevén que el precio del petróleo ronde los \$80 por barril, los proyectos de accionamiento por vapor podrían llegar a ser desarrollados porque el costo de producción por barril es de 65 a \$70, sin embargo los proyectos mineros que son más costosos no serán desarrollados.

Una lógica similar aplica para el desarrollo de proyectos de perforación en mar adentro. La Figura 7.2 muestra una dramática diferencia en los costos de producción petrolera en proyectos mar adentro y en proyectos en tierra firme.

Nótese en la Figura 7.2 que el costo por Barril de Petróleo Equivalente (BOE, por sus siglas en inglés) tuvo picos de \$80 y descendió hasta \$50 en el período comprendido entre 2007 y 2009. Este pico en el precio por BOE se presentó justo antes del desastre de BP en el Golfo de México en abril de 2010. ¿Estaban las compañías petroleras mejorando los costos de tecnología o estaban simplemente reduciendo costos sin tener en cuenta la seguridad de los trabajadores o las consecuencias ambientales?

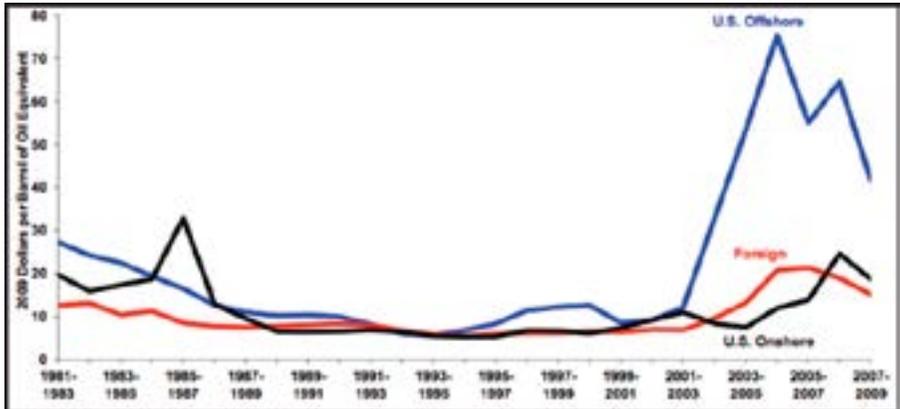


Figura 7.2: Costos de desarrollo para proyectos petroleros desde 1981-1983 a 2007-2009
(Fuente: EIA)³⁸¹

El punto de referencia de Brent es probablemente el más reconocido para los precios mundiales de petróleo. El punto de referencia de Brent para el petróleo crudo ha estado por encima de \$100 desde 2011³⁸². El punto de referencia de West Texas Intermediate (WTI) ha bajado muy ligeramente de la marca de los \$100 durante ese mismo período de tiempo. Si los inversionistas prevén que el precio del petróleo se mantendrá por encima de \$100, las arenas petrolíferas de Canadá podrían ser desarrolladas después de todo.

Sin embargo, los precios del petróleo son extremadamente volátiles. El precio de \$100 por barril de petróleo se ha hecho común, pero una mirada rápida a la Figura 7.3 muestra que los precios del petróleo estuvieron bastante bajos durante la década de 1990. El precio del petróleo estuvo alrededor de los \$10 por barril en febrero de 1999.

En caso de que la demanda petrolera se viese reducida; digamos para el 2030 debido a que la energía solar y los vehículos autónomos y eléctricos sustituyeran al diésel, los precios del petróleo no tienen otra cosa que hacer sino bajar.

Algunos en la industria petrolera argumentan que los altos precios del mercado son necesarios como incentivo para la exploración y la inversión. Sin embargo, como muestra la Figura 7.2, hasta el año 2000 los precios del petróleo fueron relativamente bajos y gran cantidad de los pozos petroleros fueron igualmente desarrollados. ¿Por qué? Nótese en la Figura 7.1 que el precio de desarrollar pozos en tierra firme fue bastante más bajo, en su mayoría en el rango de \$20. El hecho es que la mayoría de las empresas petroleras están obteniendo petróleo a \$20

por barril y vendiéndolo a \$100 por barril. Eso representa cinco veces los costos de producción. Nada mal.

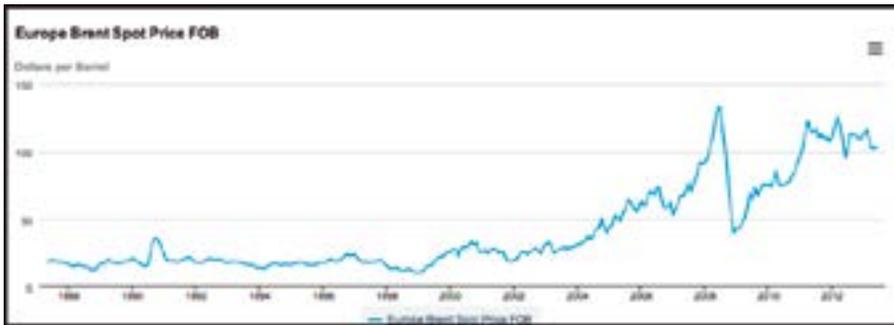


Figura 7.3: Precios del petróleo de acuerdo al punto de Brent, 1987-2012 (Fuente: EIA)³⁸³

Cuando los precios del petróleo regresen al rango de precios de 20 a \$30 por barril; como ocurrió en la década de 1990, lo siguiente ocurrirá:

1. Solo los productores con bajos costos lograrán sobrevivir. Solo pozos altamente productivos con puntos de equilibrio entre 15 y \$20 serán desarrollados.
2. La mayoría de los desarrollos ambientalmente catastróficos (que son masivamente costosos) quedarán varados. Las arenas petrolíferas de Canadá con su costo de \$65 por barril, desarrollo de pozos mar adentro con su costo de 60 a \$70 por barril y los desarrollos en el Ártico profundo con sus costos ambientales y financieros aún desconocidos quedaran en espera. Los inversionistas racionales nunca regresarán a estos proyectos. Nunca.

El primer ministro de Canadá, Stephen Harper, dijo que desarrollar las arenas petrolíferas de Canadá era una empresa épica de la escala de las pirámides de Egipto, solo que más grande. Él estaba en lo cierto, pero no por las razones que pensaba. Las arenas petrolíferas de Canadá pronto serán unos activos varados de tamaño monumental. Tal como las pirámides, serán lápidas funerales gigantes que le recordarán a futuras generaciones del daño que las inversiones megalománicas pueden causar en sociedades saludables y poderosas.

La Primera Nación Solar del Mundo

El 29 de octubre de 2012, la nación insular del pacífico sur, Tokelau, se convirtió en el primer país del mundo que cubre su demanda energética 100% a partir de la energía solar. Tokelau es una nación bastante pequeña con una población de 1.411 habitantes en 12 km² distribuidos en tres atolones. Tokelau se cambió a la energía solar debido a que la nación sufría los problemas típicos de las economías alimentadas por el diésel.

Tokelau tenía gastos de aproximadamente 1 millón de dólares neozelandeses (0,83 millones de dólares) en combustible cada año³⁸⁴. Esto no parece demasiado hasta que se considera que el PIB del país es de 1,5 millones de dólares³⁸⁵. 55% de los ingresos de la isla eran gastados en combustible diésel para mover la economía de la isla.

Todo esto cambió cuando la isla migro a la energía solar. Muchas de las discusiones acerca de la electricidad se enfocan en el costo nivelado de la energía. Pocas personas se dan cuenta de la dependencia de la calidad de vida en los combustibles fósiles. El diésel es extremadamente costoso, los generadores a base de diésel en Tokelau eran apagados de noche para ahorrar dinero. Medicinas que requerían refrigeración permanente se estropeaban, pacientes que requerían tratamientos en las noches no podían acceder a ellos³⁸⁶. El Diésel era entregado por vía marina de forma mensual. Algunas veces la isla se quedaba sin diésel y tenían que esperar a oscuras que llegara la siguiente dotación de diésel. El diésel era en el mejor de los casos, una fuente de energía intermitente.

Ahora que Tokelau abandonó el diésel, los habitantes del país prácticamente han doblado sus ingresos, aumentado su calidad de vida y tienen un abastecimiento continuo de energía.

PowerSmartSolar, una compañía radicada en Tauranga, Nueva Zelanda, construyó las instalaciones solares de Tokelau. Dean Parchomchuck, un cofundador de la compañía, lideró el equipo de instaladores en la isla. Lo conocí en la cafetería de la Escuela de Negocios de la Universidad de Auckland y me contó que instalar esta infraestructura les llevó 22 semanas. El primer atolón se llevó diez semanas y el segundo y el tercero se llevaron seis semanas cada uno. Aquí se puede ver cómo trabaja la curva de aprendizaje de las instalaciones solares. De haber existido un cuarto atolón, la instalación habría tomado aún menos tiempo. Las tres instalaciones de energía solar consisten en 1,5 MW en paneles solares fotovoltaicos y bancos de baterías que almacenan la energía para uso nocturno y durante días lluviosos.

Las plantas de energía solar costaron 7,5 millones de dólares neozelandeses y fueron financiados subvencionados por New Zealand Aid Programme.

Solo hicieron falta cinco meses para que la pequeña nación insular de Pacífico sur, migrara desde una alimentación completamente a base de diésel a una alimentación completamente a base de energía solar. Es un pequeño mercado energético, pero la lección es clara. Cuando se presenta la disrupción, ésta se puede dar muy rápidamente.

El Final del Diésel es el Final de la Pobreza Energética

En 1991, India tenía cinco millones de teléfonos celulares. En mayo de 2012, el país tenía 960 millones de celulares y estaba añadiendo 8 millones de nuevos celulares cada mes³⁸⁷.

En 1991, el gobierno hindú aprobó una nueva legislación para quebrar la monolítica, centralizada e ineficiente industria de las telecomunicaciones. El objetivo era proveer telecomunicaciones accesibles para todos los habitantes. En menos de dos décadas, el uso de teléfonos celulares en India pasó de 0,05% a 80% de la población. Un asombroso crecimiento del 19.100%. India ahora cuenta con el segundo más grande mercado de telecomunicaciones del mundo.

Cuando la red eléctrica colapso en India en agosto de 2012, más de un billón de personas quedaron sin acceso a energía de parte de la red. 600 millones de personas fueron afectadas por el apagón. Sin embargo, entre 600 y 500 millones de personas ni siquiera se enteraron del apagón, debido a que no recibían su energía de parte de la red³⁸⁸. Esta población confiaba en el diésel, kerosene o leña para suplir sus necesidades energéticas. Los hindúes pagan hasta \$2 por kWh por su energía, más de diez veces el costo de la energía solar sin subsidios. No tener acceso a fuentes confiables y accesibles de energía puede mantener poblaciones enteras en un ciclo sin fin de pobreza.

El gobierno hindú está ayudando a exacerbar el problema del combustible. En 2011, los subsidios hindúes para los combustibles fósiles alcanzaron los 39,7 billones de dólares de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía³⁸⁹. India está pagando billones para perpetuar el ciclo de pobreza para sus propios habitantes.

India no está sola. De acuerdo con André-Jacques Auberton-Hervé, CEO de la fábrica de semiconductores Soitec, "uno de los secretos sucios mejor guardados

de la industria energética es el subsidio anual de 300 a 400 billones de dólares por parte de los gobiernos mundiales para el diésel³⁹⁰.

Los gobiernos normalmente justifican sus subsidios energéticos indicando que ayudan a los pobres, pero las evidencias indican que estos subsidios ayudan a los ricos, no a los pobres. De acuerdo con el FMI, el 20% de hogares más ricos en países con ingresos bajos o moderados, capitaliza seis veces más subsidios energéticos que el 20% de hogares más pobres³⁹¹.

Un billón de hindúes tienen acceso a teléfonos celulares, pero solo 366 millones tienen acceso a un inodoro, de acuerdo con las Naciones Unidas³⁹². El gobierno del país tiene que admitir que no es muy bueno en proveer infraestructura a sus habitantes incluso en los casos en los que parece ser bastante simple. Las cifras de inodoros vs celulares, prueban que la creación de infraestructuras distribuidas basadas en bits, es más fácil que construir una infraestructura basada en átomos que consta de tuberías de agua, alcantarillado, plantas de procesamiento centralizados, y gestión de “comando y control”.

¿Cuánto costaría proveer energía a los 500 millones de hindúes que actualmente no tienen acceso a la red eléctrica?

Asumiendo que cada ciudadano hindú recibe cerca de 100 vatios de energía solar. Una familia de tres recibiría 300 vatios, prácticamente un panel solar; una familia de cinco recibiría 500 vatios. India recibe aproximadamente cinco horas de irradiación solar cada día. Esto significa que cada familia de cinco recibiría cerca de 2,5 kWh al día, suficiente para cargar un par de celulares, accionar una computadora, un televisor, varios bombillos LED un ventilador de mesa, y una cafetera³⁹³.

La cifra de 2,5 kWh es más del consumo promedio de los hindúes que tienen acceso a la red eléctrica. En 2005, 45% de la población no tenía acceso a la red, 33% tenía acceso pero consumía menos de 50 kWh al mes (1,6 kWh por día); 11% tenía acceso a la red pero consumía entre 50 y 100 kWh al mes (1,6 kWh por día y 3,3 kWh por día). Y 11% de los hindúes tenían acceso a la red y consumían más de 100 kWh al mes (3,3 kWh por día)³⁹⁴.

El costo de los paneles solares fotovoltaicos actualmente es de \$0,65 por vatio. Esto es solo por el panel. Añadiendo el costo de los transformadores, cables, instalaciones y otros, el costo alcanza un aproximado de \$2 por vatio, que es el costo total de las instalaciones solares en Alemania. Añadiendo una pequeña batería para uso nocturno y el costo total sería de \$5 por vatio.

Para proveer energía solar a 100 millones de personas, India necesitaría cerca de 300 billones de dólares, menos de lo que el gobierno actualmente gasta

en subsidios para el diésel y otros combustibles fósiles. En otras palabras, si el gobierno hindú desvía los fondos destinados a estos subsidios hacia sistemas distribuidos de generación de energía solar el país podría llevar electricidad a 500 millones de personas en cinco años. Las industrias del diésel y el kerosene estarían completamente sustituidas. No habría necesidad de nuevas plantas de carbón, plantas hidroeléctricas o líneas de transmisión.

Subsidiar a estos 500 millones de hindúes no solo costaría menos que subsidiar a los combustibles fósiles, acabaría con la innecesaria carnicería causada por la contaminación del aire en interiores. De acuerdo con la OMS, anualmente entre 3 y 4 mil personas en India mueren a causa del aire contaminado y envenenamiento por monóxido de carbono por la quema de biomasa y el uso de “chullahs”³⁹⁵.

Para 1.411 personas en Tokelau o para 500 millones de personas en India, la pobreza energética puede acabarse rápidamente. La energía solar ya es más barata que el diésel o el kerosene y en la mayoría de los casos es más valiosa que la leña. Cuando los gobiernos despierten y dejen de subsidiar los combustibles fósiles, la disrupción del petróleo como fuente de energía, no será nada costosa y sí, muy rápida.

India ni siquiera tiene que subsidiar la energía solar para que la disrupción se presente. Solo necesita dejar de subsidiar y proteger al petróleo, carbón, las hidroeléctricas y las plantas nucleares. También precisa cambiar el aparato normativo que protege a los actuales actores energéticos.

En 1991, para proveer telecomunicaciones para toda la población, India decidió saltarse el obsoleto modelo a base de líneas telefónicas. Dos décadas después, casi un billón de hindúes disfrutaban de teléfonos celulares. De forma similar, la disrupción energética se dará cuando el gobierno hindú decida que es tiempo de frenar el subsidio y la protección a su obsoleta arquitectura energética en pro de permitir a emprendedores construir un futuro energético confiable, participativo, seguro y limpio.

Cuando la Energía Solar y los Vehículos Eléctricos Converjan

Después del derrame petrolero de BP en 2010, me pregunté acerca de la combinación de la energía solar y los vehículos eléctricos. Uno de los mitos acerca de la energía solar es que esta necesita demasiado espacio. Pienso que disipe este mito en Solar Trillions, pero aparentemente la industria de los combustibles fósiles es

demasiado buena desinformando al público. Haré los cálculos de forma diferente en esta ocasión y espero que los lectores hagan tweets de estos hechos para superar la máquina propagandista de la industria de los combustibles fósiles.

La pregunta es cuanta es la extensión de tierra necesaria para accionar todos los vehículos eléctricos de Estados Unidos en un año. Después de hacer estos cálculos, mostrare cuantos pozos petroleros son necesarios para accionar todos los vehículos con motores de combustión en Estados Unidos.

¿Cuánta Superficie para la Energía Solar es Necesaria para Accionar todos los Vehículos Eléctricos?

Asúmase que todos los carros y camiones en Estados Unidos son eléctricos. Asúmase también que todos estos vehículos se alimentan con energía solar. ¿Cuál es la superficie necesaria para generar suficiente energía solar para alimentar cada milla viajada por un vehículo en Estados Unidos?

De acuerdo con el Departamento de Transporte de Estados Unidos, los estadounidenses conducen cerca de tres trillones de millas (4,8 trillones de kilómetros) cada año³⁹⁶. ¿Cuánta energía solar es necesaria para generar suficiente potencia para que los vehículos eléctricos se trasladen esos tres trillones de millas?

Para responder esa pregunta, se necesita el número de millas que se puede recorrer por unidad de energía (kWh) para un vehículo eléctrico promedio. El Departamento de Energía compila cifras para todos los vehículos eléctricos en el mercado estadounidense³⁹⁷. El departamento de estado mide cuantas unidades energéticas (kWh) son necesarias para que un vehículo recorra 100 millas.

La lista incluye vehículos deportivos como el Toyota RAV4 EV, carros grandes como el Modelo S de Tesla y compactos como el Ford Focus EV. Para mis cálculos haré un promedio de todos los carros en la lista.

El Nissan Leaf, el vehículo eléctrico más vendido del mundo, obtiene 3,45 millas (5,5 km) por kWh. Los vehículos eléctricos de Tesla obtienen un poco más de 4 millas (6,4 km) por kWh de energía almacenado en sus baterías (véase Capítulo 5). Estos números serán muy probablemente mejorados en el futuro cercano. De hecho, ya es posible aumentar la eficiencia del Nissan Leaf hasta las 5 millas por kWh cambiando supuestos de conducción³⁹⁸. Para propósitos de mis cálculos, haré uso de las 3,45 millas (5,5 km) por kWh listadas³⁹⁹.

Para calcular cuanta energía es necesaria para accionar todos los vehículos eléctricos, se debe dividir el número total de millas viajadas (3 trillones) entre el

rendimiento (3,45 millas por kWh). Un total de 869,6 billones de kWh son necesarios para accionar todos los vehículos eléctricos en Estados Unidos por un año.

El promedio de eficiencia para transformar luz solar en energía para los paneles solares es de 16%. Este número mide, en puntos porcentuales, cuanta de la luz solar que cae sobre el panel es convertida en potencia. Que tanta es la eficiencia en la transformación energética depende de la tecnología usada. Para los paneles de gama baja, delgadas películas fotovoltaicas convierten 12% de energía solar en potencia, paneles policristalinos convierten el 16%, y monocristalinos el 20%. Tecnologías de concentración solar de potencia (CSP, por sus siglas en inglés) podrían duplicar estas cifras. Tecnología de Concentración Fotovoltaica (CPV, por sus siglas en inglés) ha fijado records de 36%, mientras que CSP térmica que combina calor y potencia (CHP) puede alcanzar eficiencias del 70 a 80%⁴⁰⁰.

El próximo paso es calcular cuánta energía solar (incidencia solar) golpea al panel cada año. La incidencia solar se refiere a la energía solar que cae sobre una superficie con un área dada, expresada en kWh/m²/año. La incidencia solar depende de la ubicación de la planta solar. Una planta solar en Barstow, California, podría recibir cerca de 2.700 kWh/m²/año; en Las Vegas o Tucson, Arizona, una planta solar podría recibir cerca de 2.560 kWh/m²/año. Mi no tan soleada ciudad de San Francisco recibe cerca de 1.785 kWh/m²/año.

Asumiendo que la planta solar se construya en un desierto en algún lugar del sureste de Estados Unidos, podría recibir 2.400 kWh/m²/año, cerca de 874 millas cuadradas de terreno son necesarias para generar suficiente potencia para que los vehículos eléctricos puedan viajar tres millones de millas. Esta superficie, es la de un cuadrado con 29,6 millas en cada uno de sus lados. En resumen: cerca de mil millas cuadradas de instalaciones solares son necesarias para alimentar cada milla viajada por los vehículos eléctricos durante un año en Estados Unidos. Una planta solar del tamaño de King Ranch en Texas con sus 1.289 millas cuadradas podría generar suficiente energía para alimentar a todos los vehículos eléctricos en Estados Unidos y contar con un 40% de energía extra de sobra.

Ahora comparemos mil millas cuadradas de instalaciones solares con el petróleo.

¿Cuánta Superficie en el Agua y la Tierra Necesita la Energía a Base de Petróleo o Gas para Accionar todos los Vehículos Eléctricos?

De acuerdo con la cámara de representantes de Estados Unidos, la industria del petróleo y el gas alquiló 74.219 millas cuadradas (47,5 millones de acres) de terrenos en Estados Unidos para perforar pozos petroleros. Adicionalmente

alquilaron 68.750 millas cuadradas (44 millones de acres) para perforaciones mar adentro⁴⁰¹. Juntado esto, la industria del gas y el petróleo alquila cerca de 143.000 millas cuadradas al gobierno de Estados Unidos; para cubrir solo un tercio de las necesidades energéticas para el transporte. Multiplicando 143.000 por tres se obtiene el número total de millas cuadradas requeridas por la industria del petróleo y el gas para cubrir toda la necesidad energética de la industria del transporte en Estados Unidos: cerca de 400.000 millas cuadradas.

Para alimentar a solo un tercio de los carros a gasolina en Estados Unidos, el petróleo utiliza 143 veces la superficie requerida por la energía solar para alimentar a todos los vehículos eléctricos. Otra forma de verlo es: la combinación de los vehículos eléctricos y la energía solar usa el espacio 400 veces más eficientemente que la combinación del petróleo con los carros a gasolina.

Cuando la convergencia tecnológica (energía solar y vehículos eléctricos) es 400 veces más eficiente en el uso de recursos que la tecnología regular (petróleo y carros a gasolina en este caso), es tiempo de prestar atención. Las tecnologías de energía solar y vehículos eléctricos están destinadas a ser disruptivas, especialmente si se considera que en este caso, los recursos son tan valiosos como el agua y el suelo.

Lógicamente, la construcción de una planta solar de 874 millas cuadradas no es factible. No es productiva tampoco. El potencial disruptivo de la energía solar no yace únicamente en su bajo costo, sino en su naturaleza distributiva. Es mejor generar la mayoría de esta energía cerca de los carros que la utilizaran, en techos residenciales y comerciales, centros comerciales, “cajas grandes”, vertederos y otros.

Wal-Mart espera cubrir 218 millas cuadradas en 2015⁴⁰². Wal-Mart por sí solo, podría alimentar a una cuarta parte de los vehículos eléctricos en Estados Unidos. Todo lo que Wal-Mart tendría que hacer es cubrir sus techos con paneles solares y sus estacionamientos con marquesinas solares.

Fugas, Derrames y Contaminación

No hay necesidad de decir, que las fugas y derrames de petróleo afectan más agua y suelo del que revelan las cifras. El desastre de BP en el Golfo de México en 2010 afectó decenas de miles de millas cuadradas más allá de sus pozos. En junio de 2010, los servicios de pesca del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) cerraron más de 80.000 millas cuadradas alrededor de los pozos para la pesca comercial.

El desastre petrolero de BP fue ochenta veces más grande que la superficie necesaria para que las plantas solares alimenten el recorrido de todos los vehículos de Estados Unidos. Mientras tanto, nadie ha escuchado nunca de un derrame solar. El petróleo no solo es sucio y costoso. El petróleo es también un devorador de suelo y agua. La convergencia de los vehículos eléctricos y la energía solar sería 400 veces más eficiente con respecto al uso de espacios que el petróleo y no amenazaría con el tipo de contaminación por la cual el petróleo es famoso.

Resumen: El Fin del Petróleo

El petróleo es obsoleto. La edad del petróleo terminará para el 2030. La energía solar y los vehículos eléctricos y autónomos sustituirán a la industria petrolera. La mayoría de los trillones de dólares invertidos en la industria petrolera pronto estarán varados.

La industria petrolera será sustituida y el petrolero pasará a ser obsoleto por muchas razones. La información es abrumadora:

- La energía solar ha mejorado su relación de costos relativa al petróleo más de 5.355 veces desde 1970.
- La convergencia de los vehículos eléctricos y la energía solar es cuatrocientas veces más eficiente en el uso de espacio que la combinación de petróleo y vehículos con motor de combustión.
- La energía solar es un recurso distribuido. Puede alimentar a los vehículos eléctricos cerca de donde estos lo requieren, sin necesidad de tuberías, instalaciones de almacenamiento o estaciones de servicios.
- La energía solar ya es más barata que el diésel para la generación de potencia.
- La energía solar ya es más barata que el kerosene para calentamiento e iluminación.
- La energía solar ya es más barata que el petróleo para desalinización del agua.
- La energía solar con baterías para almacenamiento ya es más barata que la generación a base de diésel a pequeña escala.
- La energía solar con baterías para almacenamiento ya es más barata que la generación a base de petróleo a gran escala.

- Los costos de almacenamiento energético están disminuyendo tan rápidamente, que para el 2020, las instalaciones solares con almacenamiento de red van a ser más económicas que el petróleo a cualquier escala.

La disrupción del petróleo ya se encuentra en la vía rápida. El vehículo eléctrico sustituirá a la industria petrolera en 2030; tal vez antes. El incremento de la demanda de petróleo en los próximos años de parte de economías con demanda energética creciente como las de China e India maquillará el hecho de que el petróleo está en el camino rápido hacia la obsolescencia. La energía solar sustituirá al petróleo como fuente de generación energética y como fuente de potencia para la industria automotriz. Finalmente, los vehículos autónomos disminuirán la flota mundial de vehículos y la harán mucho más eficiente. Lo que quede de la industria petrolera será completamente obsoleto para el 2030.

Capítulo 8:

Gas Natural: Un Puente a Ningún Lugar

“Estamos dándole forma al mundo más rápidamente de lo que podemos cambiar nosotros y estamos aplicando al presente los hábitos del pasado”

Winston Churchill

“Se puede engañar a todas las personas por algún tiempo, o algunas personas todo el tiempo, pero no se puede engañar a todas las personas todo el tiempo”

Abraham Lincoln

“En un tiempo de engaños universales, decir la verdad es revolucionario”

George Orwell

El 10 de septiembre de 2010, los residentes del vecindario de Crestmoor en San Bruno, California, despertaron debido a la explosión de una tubería de gas que fue tan fuerte que se sintió como un terremoto. Testigos oculares describieron “una pared de fuego de 1.000 pies de altura”. Posteriormente el Servicio Geológico de Estados Unidos catalogó la explosión como un temblor de magnitud 1,1⁴⁰³. La explosión mató a ocho personas, creó un cráter de 167 pies (51 metros) de longitud y 26 pies (7,9 metros) de ancho y acabó con un vecindario entero (véase Figura 8.1).

Este accidente fue el recordatorio de una verdad que ignoramos a nuestro propio riesgo. Las tuberías de gas natural tienen fugas. Cuando ese gas es metano (gas natural), el resultado puede ser catastrófico.



Figura 8.1: Devastación a causa del gas natural en San Bruno (Fuente de la foto: Brocken Inaglory)⁴⁰⁴

Cerca de un siglo antes de la explosión de San Bruno, en 1906, un terremoto y un incendio subsecuente destruyeron el más importante centro cultural, financiero y de comercio al oeste de Estados Unidos: San Francisco. Cerca de 25.000 construcciones fueron destruidas, tres mil personas murieron y 300.000 personas (de un total de 400.000 habitantes) quedaron damnificadas⁴⁰⁵. A pesar de que el terremoto de 7,9 de magnitud fue devastador, se calcula que el 90% de la destrucción de San Francisco fue debido al incendio provocado por la ruptura de las tuberías de gas.

¿Es Limpio el Gas Natural?

En la primera mitad del siglo XX un nuevo material estuvo de moda. En la Feria Mundial de Nueva York de 1939 fue publicitado un “mineral mágico” y ensalzado para sus “servicios a la humanidad”. Fue usado en miles de productos, desde botones a teléfonos a paneles eléctricos⁴⁰⁶. Los cirujanos cardiovasculares los usaban en los hilos y era considerado lo suficientemente seguro para purificar comida y ser incluido en la pasta dental. El nombre de este mágico mineral es asbesto.

El gas natural ahora es el “nuevo combustible mágico”. La industria del petróleo y el gas ha promocionado inteligentemente al gas como una fuente de energía limpia. La industria petrolera nos recuerda continuamente que las plantas de gas generan cerca de la mitad de los gases de efecto invernadero que genera una planta de carbón (véase Figura 8.2). Lo que no es revelado por esta industria es que cuando se libera a la atmósfera sin ser quemado, el metano (el principal componente del gas natural) tiene un efecto invernadero 72 veces peor que el CO₂ (Cuando las mediciones se realizan en veinte años)⁴⁰⁷.

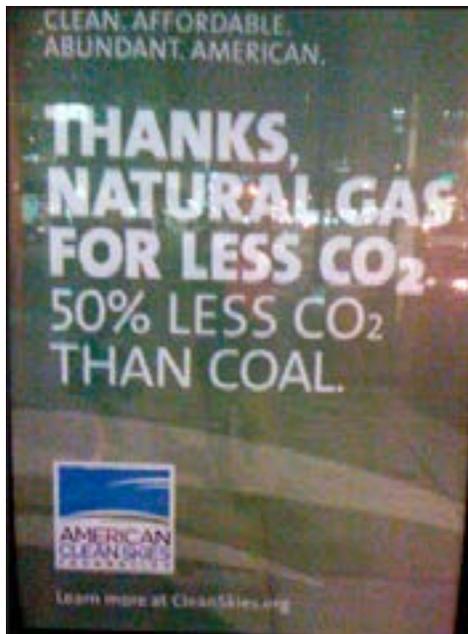


Figura 8.2: Publicidad en Washington, DC. “Gracias Gas Natural, 50% menos CO₂ que el Carbón” (Foto: Tony Seba)

El gas natural muchas veces se fuga de la cadena de suministros. Se fuga cuando es sacado de la tierra, cuando es almacenado y cuando es transportado por cientos de millas de tuberías. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos tres trillones de pies cúbicos de metano se fugan anualmente. Esa cifra representa el 3,2% de la producción global⁴⁰⁸. Esta fuga de metano es equivalente al peligro ambiental que representan la mitad de las plantas de carbón de Estados Unidos⁴⁰⁹.

La línea de gas que fallo y causó la explosión en San Bruno en 2010, fue una tubería de acero con espesor de pared no uniforme que fue instalada en 1956⁴¹⁰. Los investigadores federales encontraron una gran cantidad de soldaduras defectuosas. Como los volúmenes crecientes de gas natural en las tuberías, aumentaron la presión, estas fallaron hasta el punto de explotar.

La industria del petróleo y el gas está en una carrera para la construcción de nuevas tuberías. Más de cuatro mil millas de nuevas tuberías fueron construidas solo en 2008. Sin embargo, la mayoría de la distribución del gas, se da a través de tuberías viejas. Más de la mitad de las 305.000 millas de tuberías de gas natural en Estados Unidos fueron construidas en los años 50 y 60⁴¹¹. Más del 12% fue construida en los años 40, de acuerdo con el Departamento de Transporte de Estados Unidos⁴¹². La tubería de San Bruno fue construida durante este boom de la industria del gas. Las primeras regulaciones de seguridad asociadas a las tuberías de gas, se establecieron en 1968.

Se espera que el volumen de gas natural manejado en Estados Unidos aumente un 50% durante los próximos veinte años, de acuerdo con el Departamento de Energía de Estados Unidos⁴¹³. Como el volumen y la presión se incrementarán en decenas de miles de millas de tuberías viejas que fueron construidas antes de la firma de la primera regulación de seguridad ¿Cuánto metano podemos esperar que se fugue?

Hay una cantidad sorprendentemente baja de información acerca de las fugas en las tuberías porque los dueños de estas no están obligados a reportarla. El primer reporte de inspección de tuberías en Estados Unidos, encontró 3.356 fugas a lo largo de 785 millas de tuberías en Boston⁴¹⁴. Eso se traduce en 4,3 fugas por milla. Extrapolando esta información, puede haber 1,3 millones de fugas a lo largo de las 305.000 millas de tuberías de gas natural en Estados Unidos.

El mismo equipo que llevo la investigación en Boston, liderado por el Profesor Robert Jackson de la Universidad de Duke, recientemente encontró 5.893 fugas en el sistema de tuberías de gas natural de Washington, DC⁴¹⁵. En algunos lugares se encontraron concentraciones de metano de hasta 500 mil partes por millón; diez veces más alto que el nivel límite al cual ocurren las explosiones. De acuerdo

con Nathan G. Phillips, un miembro del equipo de investigación y profesor en el Departamento de Ambiente de la Universidad de Boston, indicó “la densidad promedio de fugas encontrada en ambas ciudades fue comparable, pero el promedio de concentración de metano en Washington fue muy superior”. Algunos lugares tenían concentraciones de metano comparables con la cantidad utilizada entre dos a siete hogares, una docena de fugas planteaban riesgo de explosión.

El metano es un gas de efecto invernadero, es 72 veces más potente (después de veinte años) que el CO_2 ⁴¹⁶. Una fuga de solo 1% de metano, negaría el hecho de que el metano emite 50% menos CO_2 que el carbón cuando es quemado en una planta energética eficiente. Incluso considerando el efecto a largo plazo, el metano es 25 veces peor que el carbón en un período de 100 años, pero una fuga de 3% acabaría con sus ventajas sobre el carbón.

El día de Halloween en 2013, más de tres años después de la explosión de gas natural en San Bruno, PG&E tomó una página en el San Francisco Chronicle para anunciar con orgullo que había instalado noventa nuevas válvulas automáticas y reemplazado 69 millas de sus 6.750 millas de tuberías de transmisión de gas natural⁴¹⁷. Fueron necesarios 2 billones de dólares y tres años luego del accidente, para que la más grande empresa de servicios de Estados Unidos (por capitalización de mercado) reemplazar el 1% de sus tuberías de gas. ¿Cuánto será necesario para que PG&E actualice el 99% de las tuberías que no arreglaron?

De acuerdo con PG&E, costó un poco menos de 29 millones de dólares por milla actualizar las 69 millas de tuberías de gas. Extrapolando estos costos, serían necesarios 193,7 billones de dólares para actualizar las 6.681 millas de tuberías que no fueron reparadas. Para finales de 2012, PG&E tenía 4,4 millones de clientes de gas natural⁴¹⁸. ¿Quién pagaría por estas reparaciones si llegasen a tener lugar? Los clientes, por supuesto. ¿Cuánto costaría? Le costaría a cada cliente de PG&E 44.000 para reparar todo el sistema de tuberías. Demasiado para el “económico gas”.

El implacable trabajo de publicidad llevado a cabo para convencer al mundo de que el gas es limpio, ha funcionado. De hecho, muchas municipalidades desde San José, California hasta Sevilla, España, orgullosamente expresan que su sistema de buses de “aire limpio” son potenciados gracias al gas natural (véase Figura 8.3).



Figura 8.3: Bus de “aire limpio” alimentado por gas natural (Foto: Tony Seba)

Por lo que sabemos el gas natural no es limpio. Cuando digo que el futuro de la energía es acerca de energía limpia y distribuida, quiero que no quede ninguna duda: el gas natural no es parte del futuro limpio de la energía.

¿Es Barato el Gas Natural?

En marzo de 1999 un barril de petróleo costaba \$11⁴¹⁹. Cuando el siglo XX llegaba a su fin, los expertos decían que nos acercábamos a una época con petróleo abundante y barato. La revista *The Economist* predecía que el petróleo se iba a acercar al precio de \$5 por barril, y el entonces ministro de energía de Argelia declaró que esperaba que los costos llegaran hasta los 2 o \$3 por barril⁴²⁰.

Un barril tiene una capacidad de 42 galones de petróleo. Las refinerías en Estados Unidos, producen 19 galones de gasolina por cada barril de petróleo, de acuerdo con la Agencia de Información en Energía⁴²¹. En 1999, el costo de la gasolina estuvo entre 10 y 25 centavos por galón. Duplicando este precio para que haya ganancias los precios para de la gasolina en las estaciones aún deben estar entre 20 y 50 (5,3-13,2 centavos de dólar por litro) centavos de dólar por galón.

Detroit estaba construyendo los más grandes devoradores de gas del planeta. En una muestra de los tiempos que se presentaban, GM adquirió a Hummer, el más grande símbolo devorador de gas del momento. Parecía que todos dentro

del mundo automotriz y del negocio de la energía; incluso aquellos que tuvieron acceso a la más detallada información y los mejores análisis que el dinero podía comprar, estaban confiados en la idea de un futuro con energía barata.

La historia, por supuesto siguió otro camino. El precio del mercado para el petróleo aumentó rápidamente. Continuó aumentando hasta los \$148 por barril en julio de 2008 (véase Figura 8.4)⁴²². En cerca de ocho años, el precio del petróleo aumento catorce veces. El precio aumento casi 50 veces la predicción de The Economist y más de 70 veces la del ministro Argelino. Los mercados del petróleo y el gas son muy volátiles. Debido a que se basan en materias primas, los precios pueden cambiar rápidamente.

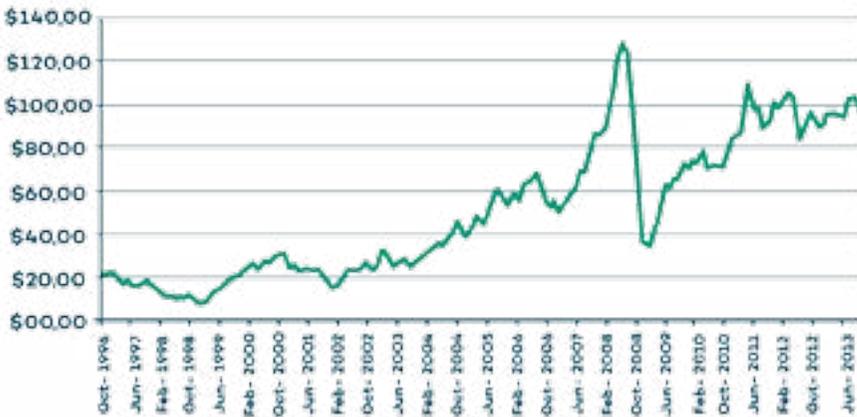


Figura 8.4: Precio de compra de petróleo crudo en EE.UU, 1996-2013 (Fuente: EIA)⁴²³

La fractura hidráulica (Fracking) ha cambiado el mercado del gas natural. Los precios del gas en mercados al por mayor en Estados Unidos han bajado a niveles de hace veinte años. La misma industria que predijo un nuevo milenio de petróleo abundante y barato en 1999, ahora predice un nuevo milenio de gas natural abundante y barato.

El precio del gas natural a boca de pozo, ha pasado de \$0,18 por mil pies cuadrados a en 1970 a \$2,66 en 2012, de acuerdo con la Agencia de Información en Energía (véase Figura 8.5). A pesar de la llamada revolución del Fracking, el gas ha aumentado de precio en un factor de 14,8 veces desde 1970. Los paneles solares fotovoltaicos han reducido sus costos 154 veces en el mismo periodo de tiempo. La energía solar ha mejorado su relación de costos relativa al gas 2.275 veces desde 1970.

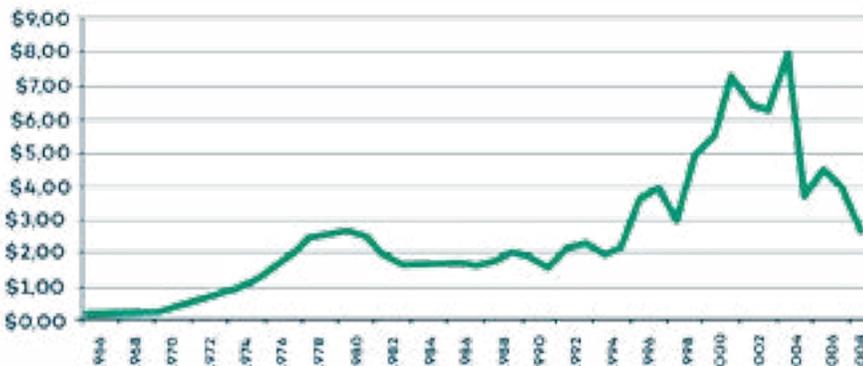


Figura 8.5: Precio del gas natural en dólares por mil pies cúbicos en Estados Unidos
(Fuente: EIA)⁴²⁴

Las inversiones crecientes en el gas, han reducido los costos desde \$7,97 en 2008 hasta \$2,66 en 2012. El gas nuevamente ha comenzado a desplazar a las plantas de gas; ha ganado cuota de mercado en los mercados energéticos. La industria del gas está festejando como en 1999 y está prometiendo un nuevo milenio de energía limpia. ¿Cuál es la probabilidad de que los costos del gas se mantengan en este nivel bajo por algunos años o una década?

Los mercados no son muy buenos para predecir el precio de los combustibles fósiles más allá de algunos segundos en el futuro. El gas natural es particularmente volátil (véase Figura 8.6). La energía solar habrá mejorado su relación de costos en un factor de 400 entre 1970 y 2020. Asumiendo que el gas se mantenga en los niveles actuales hasta 2020, la energía solar igualmente habrá mejorado su relación de costos relativa al gas natural 5.911 veces desde 1970. Asumiendo que el gas natural regrese a su precio promedio entre 2000 y 2012 (\$4,90) la energía solar habrá mejorado su relación de costos relativa al gas natural 10.884 veces en el mismo periodo de tiempo.

Estos son los precios en Estados Unidos. No todos los países del mundo tienen disponibilidad de gas de esquisto. Solo áreas con las condiciones geológicas adecuadas pueden aprovechar la tecnología del Fracking. Es decir, los mismos países que producen petróleo y gas, serán los países con la disponibilidad de producir más petróleo y gas. El resto de países tendrá que seguir importando petróleo y gas producto del Fracking a precios altos y volátiles.

Otro punto a considerar es que el gas es barato principalmente en mercados al por mayor. Distribuir el gas es costoso, inclusive dentro de un país. En Estados Unidos, el costo de exportar gas puede ser mayor que el costo de extraerlo; los costos de exportación pueden borrar la ventaja de los bajos costos domésticos.

La Figura 8.6 muestra los precios del gas natural entregado a usuarios residenciales en Estados Unidos. Nótese un par de cosas acerca de este gráfico. Primero, los precios son volátiles. La volatilidad está incrementando; el rango de precios se hace más amplio para cada nuevo año. En un periodo de dos años, el precio puede duplicarse y luego regresar a la mitad nuevamente. La segunda cosa importante es como bajaron los precios en julio de 2008 después de llegar a un precio pico de \$20 por mil pies cúbicos (al mismo tiempo que el petróleo alcanza un pico). Sin embargo, a pesar de los bajos precios que el Fracking trajo consigo en los últimos años, los precios se mantienen casi al doble del nivel de los años 90. Los consumidores no están accediendo a los beneficios de la llamada revolución.

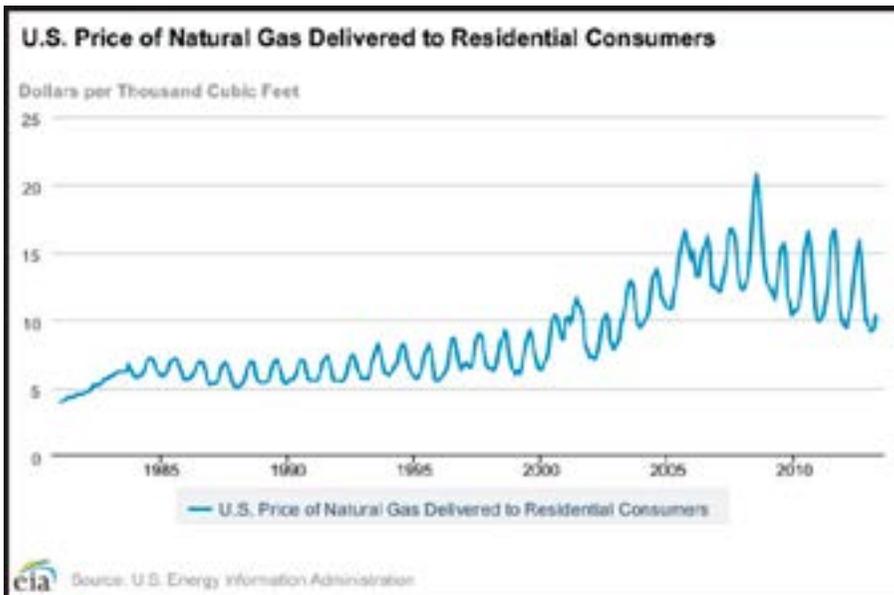


Figura 8.6: Precio del gas natural residencial en Estados Unidos (Fuente: EIA)⁴²⁵

Contrastando esto con los precios de “la tecnología de la información” de los paneles solares fotovoltaicos. La mayoría de los beneficios que internet trajo fueron para los consumidores, no para los productores. Recuerde, cuando se trata de

decrecimiento sostenidos por varias décadas en los precios, la economía de la información y los precios de la tecnología vencen a la economía de los recursos.

Precios de la Energía Solar Vs el Gas Natural

A diferencia de sus primos líquidos (petróleo) y sólidos (carbón), el gas natural no es de fácil distribución. Esta es la razón de que los mercados de gas sean regionales. Cuando el gas natural alcanzó su menor nivel de costos en Estados Unidos en 2012, los precios de importación fueron cinco veces más altos en Europa y ocho veces más altos en Japón, de acuerdo con la Agencia de Información en Energía⁴²⁶.

Para poder exportar gas natural por barco, el gas debe ser comprimido o licuado. Debe ser transportado en embarcaciones especiales y posteriormente debe ser descomprimido o condensado (véase Figura 8.7). La exportación e importación de gas natural, requiere instalaciones de gas natural comprimido (CNG, por sus siglas en inglés) o gas natural licuado (LNG, por sus siglas en inglés) en ambos puertos. Los costos de instalaciones de GNG o LNG pueden ser astronómicos.

Solo en Australia, las compañías de petróleo y gas han vertido 200 billones de dólares australianos (179 billones de dólares) en la construcción de plantas de LNG⁴²⁷. Chevron reveló que su planta Gorgón de LNG costaría 52 billones de dólares australianos (46,6 billones de dólares)⁴²⁸.

Para comparar estos costos con el precio de instalar plantas de energía solar para cubrir la demanda energética de Australia, utilicé información de la industria energética australiana:

- Generación anual de electricidad en Australia: 241,6 TWh en 2009, de acuerdo con Australian Bureau of Resources and Energy Economics⁴²⁹.
- Incidencia solar: 2.100 kWh/m²/año⁴³⁰.
- Eficiencia de los paneles solares: 15,9%⁴³¹.
- Costo de instalación por vatio: \$1,62⁴³².

El costo de instalación por vatio generado a partir de energía solar puede sorprender a los estadounidenses. Es mucho más bajo en Australia que en Estados Unidos. En promedio, para toda Australia, El costo de una instalación de energía

solar residencial de 5 kW en julio de 2013, fue de \$1,76 australianos (\$1,62), de acuerdo con SolarChoice. En Perth el costo fue de \$1,38 australianos (\$1,27)⁴³³.

Utilizando el costo promedio para las instalaciones de energía solar, sería necesaria una inversión de 186 billones de dólares para generar toda la electricidad de Australia. Con el costo de Perth, la inversión bajaría a 146 billones de dólares.

Proyectos con la escala de empresas de servicios cuestan mucho menos para aplicaciones residenciales, de manera que el escenario de bajo costo no es viable. Pero el costo de la energía solar está disminuyendo rápidamente. De manera que la cifra final puede ser probablemente más baja de 186 billones de dólares.

Basado en mis cálculos, el costo de proveer electricidad a todos los australianos con instalaciones de energía solar podría estar entre 186 y 146 billones de dólares, la inversión que las industrias del petróleo y el gas están colocando en unas pocas plantas LNG (179 billones de dólares).

Recuerde que la inversión de 179 billones de dólares es únicamente para licuar el gas natural. El licuado es solo un paso en la cadena de valor de la energía convencional (véase Figura 8.7). La cifra de 179 billones de dólares, no incluye costos de extracción, construcción de tuberías, instalaciones de condensación y construcción de más tuberías en el destino final.

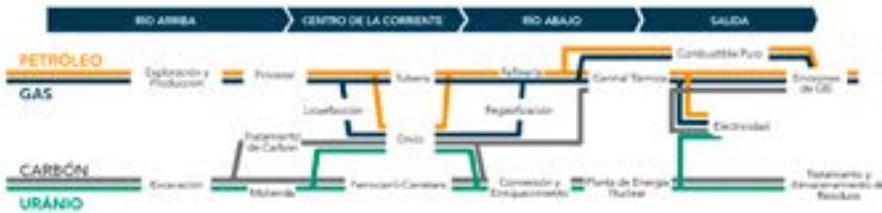


Figura 8.7: Cadena de valor de la energía convencional: nuclear y combustible fósil (Fuente: EIA)⁴³⁴

Cada paso a lo largo de la cadena de valor de la energía necesita decenas de billones o cientos de billones de dólares en inversiones y eso es solo para llevar el gas natural de la tierra a la planta energética. Construir la planta, quemar el gas para generar electricidad, enviar el gas a través de las líneas de transmisión y distribución y hacerlo llegar a los hogares añade costos adicionales.

El gas natural sigue un largo y tortuoso camino para pasar del suelo a alimentar una computadora personal. Si el famoso caricaturista e ingeniero estadounidense

Rube Goldberg hubiese tenido una cantidad infinita de dinero de los contribuyentes, probablemente habría concebido una contracción en esta cadena de suministros.

Considerando todo esto, se tiene que el gas natural es más costoso que la energía solar, es ridículamente más costoso, especialmente si se incluyen los costos ambientales que el Fracking y las fugas en las tuberías tienen sobre los suelos, el aire y el agua.

Por ejemplo, los pozos de Fracking en Dakota del Norte podrían producir hasta 27 toneladas de desperdicios radioactivos al día⁴³⁵. Las rocas de esquistos tienen altos contenidos de radio, un elemento radioactivo usado en tratamientos del cáncer. El Radio-226 tiene una media vida de 1.601 años, lo que significa que la mitad de esos escombros de radio continuarán emitiendo radiación por 16 siglos. ¿Quién paga por esta contaminación? Usted y yo lo hacemos, no la industria del petróleo o el gas.

En Europa, donde el gas natural es importado (y costoso), el gas no puede competir en mercados con alta penetración de energía solar y eólica. Las empresas de servicios en Europa han parado inversiones en plantas de quema de gas relativamente nuevas⁴³⁶. EON, la empresa de servicios más grande de Europa, ha estado quemando dinero en dos de sus plantas de gas, estas plantas siguen abiertas solo porque han recibido compensación especial de parte de los operadores de red.

Cuando se utiliza Fracking para extraer combustibles fósiles, la industria del petróleo y el gas en Estados Unidos, está exenta de leyes ambientales, incluyendo:

- Ley de Aire Limpio.
- Ley de Agua Limpia.
- Ley de Agua para Consumo Seguro.
- Ley de Política Ambiental Nacional.
- Ley de Conservación y Recuperación de Recursos.
- Ley de Planeación Ambiental y Derecho de Saber de la Comunidad.
- Ley de Responsabilidad, Compensación y Confiabilidad Ambiental Integral⁴³⁷.

Cuando se toca el tema de la contaminación producida por la extracción, la industria del petróleo y el gas está por encima de las leyes o escribiéndolas. La industria del petróleo y el gas, tiene el derecho de contaminar el agua, el suelo y el aire casi a su voluntad. Cuando las regulaciones se comportan de esta manera, desastres como el del Golfo de México, son inevitables.

Los costos de la contaminación son muy reales, pero son pagados por los contribuyentes y no por la industria que causa la contaminación. La industria no tiene que revelar el nombre de cientos de sustancias químicas tóxicas que bombean hacia la tierra (y el agua) cada vez que se hace Fracking en un pozo. Ahora sabemos que una de las sustancias bombeadas es el radio. Me pregunto si la industria petrolera también bombeará uranio y plutonio en sus pozos. Los ciudadanos americanos, ni siquiera los que viven en áreas donde se práctica el Fracking tienen derecho de saber.

Conservación del Agua y el Fin del Gas Natural

Se lleva de dos a cuatro millones de galones de agua para taladrar y fracturar un solo pozo de gas natural haciendo uso del Fracking⁴³⁸. La próxima vez que escuche o lea del Fracking considere cuánta agua necesita este proceso.

Hasta ahora el Fracking ha sido practicado más de un millón de veces en Estados Unidos. En 2009, había 493.000 pozos activos de gas natural en Estados Unidos⁴³⁹. Se estima que el 90% de esos pozos, han sido sometidos a Fracking para obtener un mayor flujo de gas. En el estado de Pensilvania hay 150.000 pozos de gas y petróleo abandonados⁴⁴⁰.

Imagine cuánta agua sería conservada si las instalaciones de energía solar (o eólica) generasen la energía que hoy en día es producida por el Fracking. Si se usaran instalaciones solares (o eólicas) para generar la demanda energética de Estados Unidos se necesitarían 11.000 m³. Eso es cerca de 2,9 millones de galones de agua.

Energizar el país entero con energía solar y eólica requeriría la misma cantidad de agua que el Fracking requiere para operar un solo pozo de gas natural. La energía solar es literalmente un millón de veces más eficiente en el uso de agua que el gas natural. En términos de uso de agua, el gas simplemente no puede competir con la energía solar y eólica.

Cuando se considera la contaminación generada por el Fracking cuando el agua usada es vertida en las corrientes, la energía solar y eólica salen aún mejor para las (véase Figura 8.8). Es ilegal verter esta agua nuevamente en las corrientes acuáticas, pero en la época de redes sociales en la que vivimos, se ha hecho difícil para la industria petrolera ocultar una práctica que está incrustada en su ADN. Una búsqueda de “vertederos ilegales de agua producto del Fracking” obtiene más de 50.000 resultados en Google. Los resultados incluyen a Bloomberg diciendo “Exxon acusado de verter ilegalmente desperdicios en Pensilvania”⁴⁴¹ y a

CBS indicando “La industria petrolera ha sido capturada desechando ilegalmente desperdicios de Fracking en Central Valley”⁴⁴².

Posteriormente los noticieros mostraron un video grabado por un granjero en el condado de Kern, California. El cual mostraba un equipo ilegal de vertido de aguas residuales del Fracking en un río.

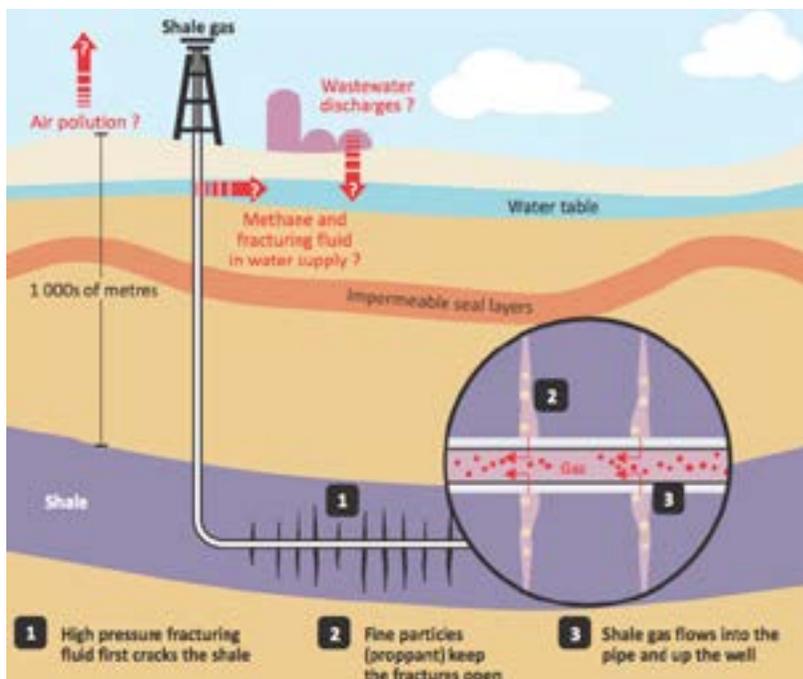


Figura 8.8: Técnica de producción de gas de esquisto y los posibles riesgos ambientales (Fuente: EIA)⁴⁴³

Inversiones Exponenciales y Rendimientos Lineales

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, la demanda de petróleo aumentará de 87,7 millones de barriles al día en 2011 a 99,7 millones de barriles al día en 2035⁴⁴⁴. La mayoría del “petróleo nuevo” no será “convencional”, es decir será extraído por medio de métodos como el Fracking, arenas petrolíferas y otros métodos no convencionales. Esto representa un crecimiento anual del 0,5%.

En un reporte que auguró la “era dorada” para el gas, la Agencia Internacional de Energía pronosticó un aumento en la producción de gas natural de 3.721 billones de metros cúbicos en 2012 a 5.112 billones de metros cúbicos en 2035 para un crecimiento de 37,4%⁴⁴⁵. Esto representa una tasa de crecimiento anual de 1,37%. Entre 2010 y 2035, la industria del petróleo y el gas gastarán 15 trillones de dólares en actividades en mar adentro (exploración y taladrado) para cubrir la creciente demanda de gas y petróleo del mundo⁴⁴⁶. Entre 2010 y 2035, durante la llamada “era dorada” la industria del petróleo y el gas invertirá más del PIB total de Estados Unidos para lograr cubrir un crecimiento de 0,5 y 1,37% anual.

Perdóneme si no estoy impresionado. Las industrias del petróleo y el gas prometen una “era dorada”, pero esta requiere inversiones masivas de trillones de dólares. Requiere cantidades no mencionadas de arena, agua y químicos desconocidos por la población. Se requiere que la sociedad asuma costos ambientales aterradores. Y el mejor resultado final posible es un crecimiento del 1,37% anual.

¿Alguna compañía del mundo invertiría 15 trillones de dólares para lograr un crecimiento de ese porcentaje? Un mirada al reporte de la Agencia Internacional de Energía explica por qué la respuesta podría ser “sí” si se trata de la industria petrolera o del gas. El reporte muestra que estas industrias recibieron 523 billones de dólares en subsidios en 2011⁴⁴⁷. En el periodo comprendido entre 2010 y 2035 el monto sería de 13,5 trillones de dólares, cerca del 90% de los 15 trillones de dólares que la industria requiere invertir en ese período de tiempo.

Las hojas de cálculo de los ejecutivos funcionan después de todo: los contribuyentes financian el 90% de capital de inversión para perforar en busca de petróleo y gas; las perforaciones son hechas principalmente en espacios públicos y se puede hacer uso de agua de propiedad pública y las perforaciones están exentas de cualquier daño al suelo, aire o agua. Los contribuyentes asumen los costos y los riesgos mientras que la industria obtiene trillones en beneficios. Esta fórmula genera rendimientos increíbles para la industria del petróleo y el gas.

El gas natural, el nuevo “combustible mágico”, es un puente a ningún lugar. Es destructivo, ineficiente y económicamente inviable como fuente de energía. Solo la protección del gobierno, la excepción de las reglas y los trillones de dólares en financiamiento de los contribuyentes mantienen el gas circulando.

Capítulo 9:

El Fin de los Biocombustibles

“El futuro no es lo que solía ser”

Paul Valéry

“No hay nada más aterrador que la ignorancia en acción”

-Johann Wolfgang von Goethe

“En Dios confiamos. Todos los demás traigan datos”

-W. Edwards Deming

El 18 de Junio de 2011, Honeywell anunció el primer vuelo trasatlántico accionado por biocombustibles. La compañía voló un Gulfstream G450 desde Morristown, New Jersey hasta París, Francia. El Gulfstream G450 fue impulsado por “una mezcla de 50/50 del combustible “Green Jet Fuel” de Honeywell y combustible a base de petróleo”⁴⁴⁸. Honeywell comentó acerca del combustible utilizado en su vuelo “Honeywell ha producido más de 700.000 galones de “Green Jet Fuel” de fuentes sostenibles, no comestibles como la camelina, la jatrofa y las algas para uso comercial y pruebas militares”.

Los biocombustibles (especialmente el etanol) han sido utilizados junto con palabras como sostenibles y renovables por las últimas tres décadas. Durante los debates presidenciales de 2012 en Estados Unidos, ambos candidatos, Mitt Romney y Barack Obama, usaron lenguaje similar para expresar su apoyo a la “energía renovable”. Romney expresó “confío ampliamente en nuestras capacidades renovables; el etanol, la energía solar y eólica serán parte importante de nuestra mezcla energética” siendo esto un reflejo de la posición de Obama sobre el tema⁴⁴⁹.

¿Qué significa “renovable”? De acuerdo con la Agencia de Información en Energía (EIA, por sus siglas en inglés) “los recursos de energía renovable se regeneran y se pueden sostener de forma indefinida”⁴⁵⁰.

Se sabe que el sol brillará de forma indefinida (al menos por un billón de años más)⁴⁵¹. Se sabe que el viento soplará de forma indefinida.

¿Pueden los biocombustibles “regenerarse” y ser “sostenibles” de forma indefinida? ¿Es ese vuelo del Gulfstream G450 a París “sostenible” o “renovable”? ¿Se pueden cultivar biocombustibles indefinidamente? Las evidencias dan una clara respuesta: NO.

Este capítulo revisa esa evidencia. ¿Son los biocombustibles “renovables”? ¿Tienen algún rol en la nueva era de energía limpia?

Despilfarro de Recursos Hídricos con Biocombustibles

El agua es energía y la energía es agua. La energía es necesaria para bombear, limpiar y transportar el agua. El agua se usa para extraer y generar energía. En los biocombustibles el agua se usa para cultivar energía.

La industria de energía térmica se basa en grandes cantidades de agua. Cerca del 15% del agua dulce retirada en el mundo se utiliza para la energía, de acuerdo con el Banco Mundial⁴⁵². En un mundo donde cerca de la mitad de sus

habitantes viven en áreas con “Alta tensión por el agua”, la necesidad de agua para la generación de energía está vinculada a muchos impuestos. De acuerdo con *WaterFootprint*, se requieren 13.676 galones de agua, para producir un galón de biocombustible a partir del haba de soja⁴⁵³.

Se necesitarían 820.560 galones de agua para producir suficiente biodiesel de haba de soja para llenar el tanque de 60 galones de un bus. Para poner esto en contexto, una piscina de tamaño olímpico contiene aproximadamente 660.000 galones de agua⁴⁵⁴. Para llenar su tanque con biocombustible de haba de soja, un “combustible limpio y renovable”, un bus como el de la Figura 9.1 necesitaría usar suficiente agua como para llenar una piscina olímpica.



Figura 9.1: “Este bus es impulsado con biodiesel”, pero el combustible no es limpio ni renovable (Foto: Tony Seba)

¿Cuántos galones de agua son necesarios para llenar el tanque de un SUV con etanol de maíz? Esta pregunta se la hice al profesor David Pimentel de la Universidad de Cornell. Él ha estudiado los biocombustibles por más de tres décadas y es una autoridad en agua y biocombustibles⁴⁵⁵. Él respondió “se necesitan 1.700 galones de agua para producir un galón de etanol, asumiendo un tanque de 30 galones en el SUV, calcularía que 51.000 galones de agua son necesarios para llenar ese tanque con etanol de maíz”.

De acuerdo con el Servicio Geológico de Estados Unidos, el consumo per cápita de agua en el país durante 2005 fue de 99 galones por día, bajando ligeramente de los 101 galones por día de 1995. El uso diario de agua varía de 51 galones al día en Maine a 189 galones al día en Nevada⁴⁵⁶.

Basado en esto, se puede decir que cada vez que alguien llena el tanque de un SUV con etanol de maíz, utiliza más agua de la consumida por el usuario residencial estadounidense promedio en 16 meses.

Todas las formas de generación de energía utilizan agua en sus procesos de transformación. Sin embargo, la cantidad de agua utilizada varía en órdenes de magnitud. El Proyecto de IBM “Carbon Disclosure Project” da una idea de las diferencias (véase Cuadro 9.1). Para generar 1 MWh de energía (aproximadamente lo que un estadounidense utiliza mensualmente):

- Las instalaciones de energía solar y eólica utilizan cantidades despreciables de agua: 0,1 litros o menos de medio vaso.
- El gas natural utiliza diez veces esa cantidad de agua para generar la misma cantidad de energía.
- La energía nuclear y el carbón utilizan dos veces la cantidad usada por el gas natural.
- El petróleo usa dos veces lo que usa el carbón (y cuatro mil veces la que usan las instalaciones solares).
- Las hidroeléctricas usan 680.000 veces más agua que las instalaciones solares.
- Los biocombustibles asombrosamente usan 1,78 millones de veces más agua que las instalaciones de energía solar para generar la misma cantidad de energía.

	Agua Total consumida por megawatt-hora (m3M/Wh)	Agua requerida para la producción de energía diaria en EE.UU. (millones de m3)
Solar	0.0001	0.011
Viento	0.0001	0.011
Gas	1.0000	11.000
Carbón	2.0000	22.000
Nuclear	2.5000	27.500
Petróleo	4.0000	44.000
Hidroeléctrica	680.0000	748.000
Biofuel (1ª Gen.)	1.780.0000	1.998.000

Cuadro 9.1: Cantidad de agua consumida por MWh en distintas fuentes energéticas (Fuente: Reporte “Carbon Disclosure Project” de IBM)⁴⁵⁷

Esta es otra forma de mirarlo: tomaría 1,2 billones de metros cúbicos de agua para que los biocombustibles generasen toda la demanda energética de Estados Unidos. China e India consumen 2,4 billones de metros cúbicos de agua al año⁴⁵⁸. Es decir, toda el agua que 2,5 billones de personas en China e India necesitan para consumo, irrigación en agricultura, plantas energéticas y fábricas de forma anual es igual a la cantidad de agua requerida para que los biocombustibles cubran la demanda energética de Estados Unidos por dos días.

El mundo entero consume 9 billones de metros cúbicos de agua anualmente⁴⁵⁹. Para producir la cantidad de energía para alimentar a Estados Unidos una semana, los biocombustibles precisarían la misma cantidad de agua dulce que todo el mundo consume en un año. Solo llevaría una semana de producción energética total a base de biocombustibles en Estados Unidos para que el mundo entero se convirtiera en un desierto planetario.

Comparando esto con la energía solar o eólica, se tiene que para generar la demanda energética diaria de Estados Unidos las instalaciones de energía solar o eólica solo necesitarían 11.000 m³. Eso es cerca de 2,9 millones de galones de agua; es decir, menos de cinco piscinas olímpicas.

Practicar Fracking en solo un pozo se llevaría más agua. Se necesitan 4 millones de galones de agua para taladrar y fracturar un pozo de gas natural haciendo uso del Fracking⁴⁶⁰.

Simplemente no tiene sentido hacer uso de un recurso tan valioso como el agua de la manera que lo utilizan la mayoría de las fuentes energéticas. En una era con temperaturas record, aumento de la población y crecientes necesidades de agua para consumo y producción de alimentos. Biocombustibles agrícolas son el camino certero hacia una catástrofe ambiental.

¿Cuánta Agua es Requerida por los Biocombustibles?

Pero ¿Acaso, el agua no es renovable? ¿No hay un ciclo natural del agua que la hace regresar? si ese fuese el caso, podríamos consumir agua indefinidamente y el agua regresaría.

Para responder esta pregunta de qué tan renovable es el agua, permítanme presentarles la más importante fuente de agua de la cual la mayoría de los estadounidenses jamás han oído hablar: el Acuífero de Ogallala.

El Acuífero de Estados Unidos

El Acuífero de Ogallala es uno de los más grandes océanos subterráneos de agua dulce del mundo. Se extiende desde Dakota del Sur hasta Texas, un total de 174.000 millas cuadradas (450.000 km²). El acuífero de Ogallala es 20% más grande que Alemania. Es lo que hace que el medio oeste de Estados Unidos sea una capital para la agricultura del mundo entero: 30% de toda el agua de irrigación en Estados Unidos es bombeada desde el acuífero de Ogallala⁴⁶¹. Adicionalmente provee agua para consumo del 82% de las personas que viven en sus alrededores.

El acuífero se recarga a una tasa de 0,024 pulgadas (0,61 cm) a 6 pulgadas (150 mm) por año, pero está siendo bombeado a velocidades industriales. En algunas zonas el nivel de agua ha bajado cinco pies (1,5 m) cada año. De manera que el acuífero está siendo vaciado a una tasa de 12 km³ (420.000 millones de pies cúbicos) anualmente, lo que es equivalente a dieciocho Ríos de Colorado saliendo del océano cada año⁴⁶².

¿Es renovable el agua de Ogallala? No a la tasa que está siendo utilizada. ¿Se puede seguir bombeando agua de Ogallala de forma indefinida? No. El acuífero de Ogallala posiblemente se seque en nuestro tiempo de vida. Algunos estimados prevén que esto pase en 25 años⁴⁶³. Para ese momento, la industria de los biocombustibles agrícolas podría haber tenido éxito en convertir los graneros del mundo en grandes desiertos.

Atlanta en su Tanque de Combustible

Al comienzo de este capítulo, describí el vuelo de Honeywell a través del Atlántico en un Gulfstream G450 y como este vuelo fue impulsado por biocombustibles. ¿Qué tan renovables o sostenible fue este viaje de New Jersey a París? Hagamos las cuentas.

Un Gulfstream G450 tiene una capacidad de 4.402 galones de combustible⁴⁶⁴. Este había sido llenado con una mezcla de 50% de biocombustibles, lo que se traduce en que había 2.201 galones de biocombustibles. Honeywell indicó que su combustible estaba compuesto de jatrofa, camelina y algas. Para los propósitos de este ejercicio, se examinará la jatrofa. De acuerdo con WaterFootprint, 19.924 galones de agua son necesarios para producir un galón de biocombustible de jatrofa. Basándose en esa cifra, se tiene que 43,8 millones de galones (166 millones de litros) de agua fueron necesarios para producir suficiente biocombustible para impulsar la mitad del vuelo del Gulfstream G450 de Nueva Jersey a París.

Para darle perspectiva a esa cifra, producir 2.201 galones de biodiesel de jatrofa requiere la misma cantidad de agua que la consumida por 442.956 estadounidenses. En otras palabras, producir suficiente biodiesel de jatrofa requiere la cantidad de agua requerida por la población de Atlanta (420.003)⁴⁶⁵.

Un vuelo de Nueva Jersey a París en un pequeño avión Cessna con capacidad de 14 a 19 personas impulsado a mitad por biocombustibles requiere la misma cantidad de agua que los habitantes de la ciudad de Atlanta usan diariamente. Esta es una cantidad de agua demasiado grande.

Yo le mostré estas cifras al profesor Arjen Y. Hoekstra de la Universidad de Twente en Holanda. El profesor es creador de WaterFootprint y una de las más grandes autoridades mundiales en la gestión de agua. El profesor me indicó “sus cálculos son correctos” en un email. “Estos indican lo cuidadosos que debemos ser al hacer usos de recursos limitados como el agua dulce. Aquellos que quieren generar energía sostenible deben apuntar a la energía solar o eólica. Si se quiere utilizar biocombustibles se debe hacer uso de desperdicios biológicos, no de la agricultura”.

El 16 de enero de 2012, Lufthansa orgullosamente anunció la finalización del primer vuelo trasatlántico impulsado con biocombustibles de Europa a América⁴⁶⁶. De acuerdo con Boeing, un 747-400 tiene un tanque de combustible con capacidad de 57.285 galones (216.840 litros)⁴⁶⁷. El biocombustible usado por Lufthansa estaba hecho con una combinación de aceite de camelina de Estados Unidos, aceite de jatrofa de Brasil y una grasa animal de Finlandia. Por el bien de la discusión, asúmase que el 100% del combustible provenía del aceite de jatrofa.

Se necesitan 19.924 galones de agua para producir un galón de biodiesel a partir de la jatrofa. Harían falta 1,14 billones galones (4,3 billones) de agua para producir biocombustible de jatrofa para impulsar un vuelo de Frankfurt a New York.

En Alemania, el consumo de agua por persona es 122 litros por día⁴⁶⁸. De manera que un vuelo de ida en el Boeing 747 de Lufthansa de Frankfurt a New York, usó la misma cantidad de agua que 35,4 millones de alemanes consumen diariamente. Lufthansa nunca habría hecho uso de biocombustibles si los hubiese tenido que cultivar en Alemania. ¿Alguien en Lufthansa realmente piensa que los biocombustibles son sostenibles?

La evidencia científica muestra que los biocombustibles agrícolas no son sostenibles o renovables. Pero la política dice que sí lo son.

¿Qué pasa con la Nueva Generación de Biocombustibles?

A menudo cuando muestro estos cálculos a los creyentes de los biocombustibles me encuentro con mucha incredulidad. Eso es normal. Pero poco tiempo después siempre aparece una pregunta recurrente “¿Qué pasa con la nueva generación de biocombustibles?” las personas se refieren a los “biocombustibles celulósicos”.

Conceptualmente, la diferencia entre los biocombustibles de primera y próxima generación es que la primera utiliza la azúcares “comestibles” o partes aceitosas de la planta, mientras que la siguiente se obtiene mediante la ruptura de los componentes de la celulosa de otras partes de la planta, tales como hojas, tallos y otras partes fibrosas⁴⁶⁹. Se escribe “comestibles” entre comillas porque ciertos biocombustibles “populares” como los de jatrofa, no sólo no son comestibles sino que son venenosos⁴⁷⁰.

La “nueva generación de biocombustibles” parece haber tomado prestada su estrategia de parte del lobby de campaña de “carbón limpio”. Esos slogans están pensados para mantener los subsidios y la protección política.

A pesar de los grandes subsidios de parte de los contribuyentes y las cuotas de consumo impuestas por los gobiernos para crear mercados para los biocombustibles, las compañías están abandonando esta industria y se están llevando a los inversionistas. Los inversionistas no esperan que la industria de los biocombustibles tenga un futuro muy prometedor.

Después de invertir cientos de millones de dólares en dos compañías que trataron de hacer que los biocombustibles funcionaran, Al Shaw, CEO de Calysta Energy, se rindió. Su compañía ha comenzado a utilizar el gas natural como fuente energética. “La biomasa no es suficiente” ha dicho Shaw. “Los carbohidratos no pueden sustituir al petróleo. Estaba equivocado y lo admito”⁴⁷¹.

La antigua compañía de Shaw, Codexis, invirtió 400 millones de dólares provenientes de Shell Oil para desarrollar etanol a partir de celulosa, una biomasa “de nueva generación”. Shell ha indicado que nunca más invertirá en investigación de biocombustibles. Al Shaw ha dicho “Esa biomasa celulosa, nunca reemplazará al petróleo porque las cuentas no funcionan”, añade “no se pueden tomar carbohidratos y convertirlos en hidrocarburos de forma económica”⁴⁷². BP también canceló sus investigaciones en biocombustibles⁴⁷³.

Los inversionistas de Wall Street no esperan que haya muchos progresos con las nuevas generaciones de biocombustibles. Las inversiones globales en

biocombustibles han bajado 99%, desde un máximo trimestral de 7,6 billones de dólares en el cuarto trimestre de 2007 a solo 57 millones en el primer trimestre de 2013, de acuerdo con Bloomberg New Energy Finance⁴⁷⁴.

A medida que la evidencia se monta en contra de los biocombustibles, Calysta Energy, y otras compañías que estaban originalmente en el negocio de los biocombustibles agrícolas, han tenido que rendirse. Han cambiado al uso de gas natural como materia prima en detrimento de la biomasa agrícola.

La cadena de valor del gas natural se asemeja bastante a la cadena de valor de los biocombustibles. El resultado de esto es una intrincada y compleja malla de subsidios, protección gubernamental y cuotas obligatorias que es difícil de desentrañar.

El mercado del etanol es un apoyo creado por el gobierno para la industria de los biocombustibles agrícolas. Los precios del etanol son aumentados de forma artificial. ¿Realmente esperan los políticos que el mercado del etanol sea otro camino para el gas natural?

Por Qué la Energía Solar es Más Eficiente que los Biocombustibles

Las plantas verdes -el tipo de planta que crece en los jardines- son plantas solares. Estas convierten energía solar en biomasa. (Madera, frutos, raíces y otros) con una eficiencia de menos del 0,3%. Además, para convertir esta pequeña porción de energía en biomasa, las plantas requieren gran cantidad de ayuda de otros recursos valiosos, incluyendo el agua, el suelo y los fertilizantes⁴⁷⁵. La caña de azúcar, es una de las “historias de éxito” de la industria de los biocombustibles y solo convierte 0,38% de la luz solar en biomasa. Para convertir caña de azúcar en etanol, esta debe ser plantada, tendida, cosechada, transportada a una refinería (véase Figura 9.2) y tratada con energía y más agua. Al final, la transformación de luz solar en etanol es solo del 0,13% de acuerdo con **Scientific American**⁴⁷⁶.



Figura 9.2: Refinería de Biocombustibles (Fuente: Iowa Energy Center)⁴⁷⁷

Comparando esto con el promedio de la tasa de conversión de los paneles solares de 16%, se tiene que el panel solar promedio es 123 veces más eficiente en convertir luz solar en energía. Adicionalmente, los paneles solares no necesitan fertilizantes, agua, pesticidas o energía extra para convertir la luz solar en electricidad.

Con tecnología de concentración fotovoltaica (CPV) se puede transformar más del 40% de la luz solar en electricidad, lo que es trecientas veces más eficiente que el biocombustible de la caña de azúcar. Otras tecnologías de energía solar como la CHP pueden convertir hasta 72% de la luz solar en electricidad⁴⁷⁸, lo que es 550 veces más eficiente que el biocombustible proveniente de la caña de azúcar.

La energía solar es entre 123 a 550 veces más eficiente que los biocombustibles. Cualquier espacio de tierra con instalaciones de paneles solares, será al menos 100 veces más eficiente transformando la luz solar en energía que si no estuviesen los paneles. Además los paneles solares fotovoltaicos hacen su trabajo sin hacer uso de otros recursos valiosos y están libres de fertilizantes y pesticidas tóxicos.

¿Existirá en algún momento un mercado real para los biocombustibles? De acuerdo con Jeff Pasmore, un ejecutivo y VP de Logen, una procesadora de biocombustibles, “el mercado de los biocombustibles es 100% político”⁴⁷⁹.

Muchos programas de subsidio del gobierno han continuado décadas después de la expiración de los productos para poder propulsarlos. El telégrafo, por ejemplo, es obsoleto desde hace décadas. Solo vive en las películas y los museos. Aun así el gobierno hindú detuvo su programa de telégrafos en 2013⁴⁸⁰. Para ese momento ya había 867 millones de suscriptores de teléfonos celulares en India.

Los biocombustibles agrícolas son un experimento con buenas intenciones que se tergiverso. La única cosa renovable acerca de los biocombustibles son los intereses especiales de ciertos grupos en lugares como Washington, Brasilia y Bruselas.

Los Juegos del Hambre: La Batalla Final entre los Biocombustibles y el Petróleo

En el capítulo 8 mencione que el petróleo será obsoleto en dos décadas. Dos olas disruptivas (los vehículos eléctricos y los vehículos autónomos) acabaran con la demanda de petróleo. La disrupción solar también reducirá el mercado del diésel a una sombra.

A medida que caiga la demanda de petróleo también caerá el precio del combustible. Inversiones en costosos e ineficientes proyectos como la perforación en mar adentro y las arenas petrolíferas de Canadá se frenaran debido a que no serán financieramente viables. Solo campos con costos de producción realmente bajos permanecerán en el mercado.

Los biocombustibles serán aún menos competitivos, los subsidios de los contribuyentes explotaran. A pesar de toda el agua “gratis”, los subsidios de producción y cuotas de consumo, los biocombustibles no pudieron competir con el petróleo cuando sus precios oscilaron los \$100 por barril.

Asumiendo que aún exista agua dulce para generar biocombustibles en 2030, ¿podrán los biocombustibles competir con precios a un nivel 70 u 80% más bajo que el precio actual? El gobierno direccionará el dinero de los contribuyentes para cubrir la alta brecha entre los altos costos de producción de biocombustibles y los precios decrecientes de su competencia: el petróleo.

Las compañías petroleras ya no toman en serio a los biocombustibles como competencia. Tienen décadas de evidencia que muestran que los biocombustibles no pueden competir con el petróleo. Sin embargo, la industria petrolera sufrirá la disrupción y la reducción de su demanda en el futuro. La industria tendrá que pelear cada pedazo del mercado que pueda ganar. Inevitablemente la industria petrolera tendrá que comenzar a competir con la industria de los biocombustibles agrícolas. Esto simplemente representará una batalla entre dos industrias obsoletas donde no habrá un ganador.

Por su parte, el petróleo atacará a los biocombustibles con bases ambientales. Dirán cosas como que cuando se toma en consideración todo el ciclo de vida de producción (incluyendo fertilizantes, energía, transporte, manufactura y otros):

- El petróleo genera menos CO₂ y otros gases de efecto invernadero que los biocombustibles.
- El petróleo utiliza muchísima menos agua que los biocombustibles.
- El petróleo no usa primas agrícolas para la producción de energía.
- El petróleo no necesita tanto subsidio de parte de los contribuyentes como los biocombustibles.

Dos formas obsoletas de energía líquida que perdieron en el mercado, van a luchar entre sí en el universo alternativo de la política. Será como ver la máquina de discos y la industria de cintas de 8 pistas presionar al gobierno para obtener una porción del bolsillo de los contribuyentes. La industria petrolera atacará a los biocombustibles con bases ambientales. Viviremos momentos muy interesantes.

Capítulo 10:

El Fin del Carbón

“No es la falta de ideas innovadoras lo que fija las fronteras para el desarrollo económico, son los poderosos intereses sociales y económicos fomentando el status quo tecnológico”

Joseph Schumpeter

“Me he convertido en la muerte, el destructor de mundos”

Robert Oppenheimer

“Los países deciden vivir en eras energéticamente oscuras no porque el sol no brille sino porque se reusan a verlo”

Tony Seba (Parafraseando a James Michener)

El 26 de junio de 2013, el Banco Mundial anunció que no continuaría financiando nuevas plantas energéticas a base de carbón⁴⁸¹. En un documento publicado en su website, el Banco Mundial indicó que solo financiará energía a base de carbón “en la rara situación” en la que “no existan alternativas viables para el carbón y haya falta de financiamiento”⁴⁸². El siguiente mes, El Banco de Inversión Europeo igualmente anunció que no financiará pantas de carbón restauradas. El Banco de Inversión Europeo, que tiene inversiones en los 28 países del bloque europeo, dijo que solo financiará inversiones en plantas de vapor que cumplas ciertos estándares de emisiones⁴⁸³.

El presidente de Estados Unidos Barack Obama, ha pedido a los organismos de financiamiento multilateral de Estados Unidos que “poner fin a la financiación pública de las nuevas plantas de carbón en el extranjero, a menos que hagan uso de tecnologías de captura de carbono”⁴⁸⁴.

Estas acciones del Banco Mundial y el Banco Europeo de Inversión no acabaran con la posición del carbón como Rey de la Energía (eléctrico y Político). La industria del carbón ha estado presionando instituciones políticas durante 300 años. Sabe cómo manipular gobiernos y agencias energéticas. La industria del carbón ha perfeccionado el arte de la “captura regulatoria”.

El Banco Mundial, Banco de Inversión Europeo, Banco Interamericano de Desarrollo, Ex-Im Bank y otras organizaciones de financiamiento similares cayeron unas sobre otras para ser la primera opción para el financiamiento de plantas de carbón en el último siglo. El Banco Mundial, por ejemplo, financió 6,26 billones de dólares en proyectos de energía basada en carbón solo en los últimos cinco años⁴⁸⁵.

Debido a que las instituciones financieras estaban tan ansiosas por financiar el carbón, el costo de capital para las plantas de carbón ha sido históricamente, artificialmente bajo. Dado que los contribuyentes financian estas organizaciones financieras multilaterales, esta es otra forma en que los contribuyentes han estado subsidiando la industria del carbón en todo el mundo; manteniendo bajo el costo del capital artificialmente. Esto está por cambiar. Ahora que el Banco Mundial, Banco de Inversión Europeo y otras organizaciones similares se muestran renuentes a financiar el carbón el costo de capital para las plantas de carbón aumentará. Pronto los productores de plantas a base de carbón tendrán que acercarse cada vez más a los mercados de crédito y de inversión privada para financiar sus operaciones.

Sin generosos préstamos del gobierno y garantías de préstamos como respaldo, las normas de préstamo de Wall Street serán más estrictas. Como consecuencia, el costo de capital para energía de carbón va a aumentar. Finanzas 101 explica que como el costo de capital aumentará, dos cosas pasarán en la industria del petróleo:

- Menos plantas de carbón serán construidas ya que pasarán a ser financieramente inviable. Muchos proyectos donde el valor presente fue positivo debido a los costos de capital artificialmente bajos, pasarán a tener un valor presente negativo y quedarán varados.
- Las plantas de carbón que lleguen a ser construidas producirán energía más costosa. La electricidad será más costosa porque las plantas tendrán que pagar una tasa de interés más alta en sus préstamos bancarios.

Carbón: Una Propuesta Riesgosa

El 21 de agosto de 2013, menos de dos meses después de que el Banco Mundial anunció que dejaría de financiar nuevas plantas de carbón, algo que nunca había pasado en la industria del carbón tuvo lugar: el Buró de Manejo de Tierras de Estados Unidos (BLM, por sus siglas en inglés) llevo a cabo una puja para arrendamiento de terrenos para instalaciones de energía a base de carbón donde nadie participó⁴⁸⁶.

Tradicionalmente, cada vez que el BLM ofrecía terrenos para la explotación del carbón, sólo se presentaba un postor: la compañía que originalmente solicitó la tierra. En este caso, Cloud Peak Energy aplicó para alquilar estos terrenos siete años antes de la subasta del BLM y se esperaba que hubiese sido el único postor. Colin Marshall, el CEO de Cloud Peak Energy, dijo que “no hemos podido construir una oferta económica viable para esta oferta en este momento”.

¿Era posible que esta empresa no haya podido encontrar un mercado para las 149 millones de toneladas de carbón que yacen al lado de su mina “Cordero Rojo”? ¿O es que Cloud Peak Energía no hizo una oferta porque el costo de capital para una industria que alguna vez fue invencible estaba subiendo?

El gigante de la industria del carbón, Walter Energy tuvo que pedir de una refinanciación de crédito de 1.550 millones de dólares⁴⁸⁷ y vio caer el precio de sus acciones a la mitad en 2013, de acuerdo con Morningstar⁴⁸⁸.

A finales de 2013, el total combinado de la valoración de mercado de las 32 empresas de carbón listadas en el índice Stowe Global Coal fue de 132 billones de dólares⁴⁸⁹. La valoración de Facebook era de 136 billones de dólares⁴⁹⁰. La valoración de Google era de 373 billones de dólares, casi tres veces el valor total de las 32 empresas de carbón listadas en el índice Stowe Global Coal⁴⁹¹.

Wall Street acostumbraba a considerar la financiación de proyectos de energía a base de carbón con una estrategia de bajo riesgo, pero la realidad ha cambiado dramáticamente y la percepción del riesgo está poniéndose al día con la realidad. En consecuencia, el costo de capital para el carbón ha subido. La incapacidad de Walter Energy para levantar la deuda económica (o cualquier deuda en absoluto) indica que Wall Street ya ha elevado los costos por deuda para los proyectos de carbón. Las bajas valoraciones de mercado de las empresas de carbón dejan ver que Wall Street no prevé ningún crecimiento en el futuro a corto plazo.

La energía a base de carbón se está convirtiendo en una inversión con alto riesgo y en consecuencia su costo de capital está subiendo.

Las empresas de carbón son conscientes de estos riesgos. En el segundo trimestre de 2013, Cloud Peak Energy ha hecho más dinero de los derivados financieros que de la venta de carbón⁴⁹². La empresa líder de la industria del carbón ganó más dinero apostando contra el precio del carbón de lo que hizo por medio de la excavación del carbón. Las empresas que apuestan contra sí mismas podrían ser vistas como una señal de alerta, incluso tratándose de una práctica financiera generalmente aceptada.

La industria del carbón se ha visto reducida. ¿Pero esta fuera del negocio? ¿Está Wall Street apuntando a una tendencia de decrecimiento a largo plazo o se trata de un bache en el radar?

Carbón: una Muerte Anunciada

La agonía de la industria del carbón en las economías industrializadas avanzadas ha tomado a muchos por sorpresa, pero esta industria ha estado muriendo por décadas. El auge de la construcción de plantas de carbón comenzó a mediados de la década de 1950 y alcanzó su punto máximo a principios de los años 80, de acuerdo con la Agencia de Información en Energía de Estados Unidos (véase Figura 10.1). En los años 70, las empresas de servicios comenzaron a emigrar a la “tierra prometida” de la energía nuclear, que tuvo una época pico de puestas en marcha en los años 80 (véase Capítulo 8).

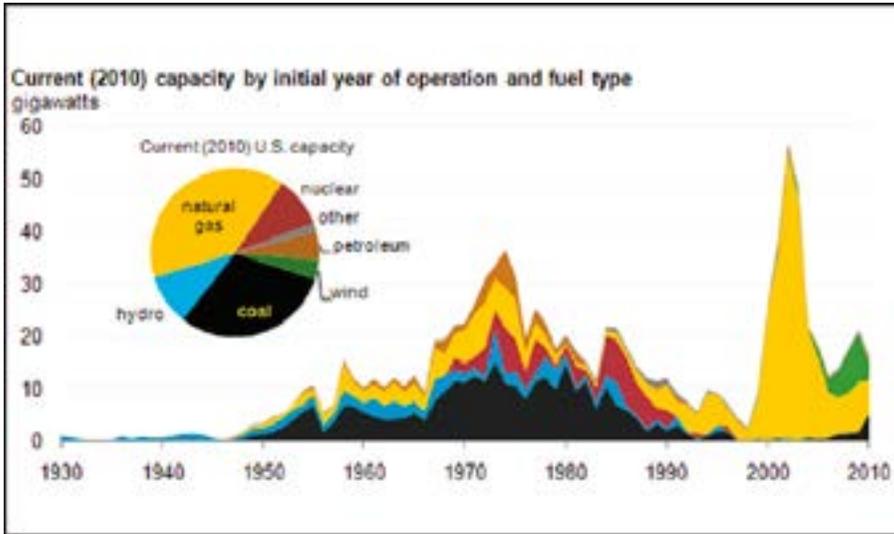


Figura 10.1: Capacidad de generación en Estados Unidos por año inicial de operación y tipo de combustible (Fuente Energy Information Agency)⁴⁹³

De 1990 a 2012, la mayoría de la nueva capacidad de generación en Estados Unidos provenía de plantas de gas natural. La Figura 10.1 muestra que la explosión en la construcción de nuevas plantas de gas natural tuvo lugar antes de la actual “revolución del gas de esquisto.” Las razones de esta explosión de la construcción fueron tres.

La primera razón para la reactivación del mercado de gas fue la Ley de Utilización de Gas Natural de 1987. Esta Ley derogó artículos de la Ley de Plantas Energéticas y Uso Industrial del Combustible de 1978, que restringe el uso de gas natural en las empresas de servicio eléctrico. La Ley de Plantas Energéticas y Uso Industrial del Combustible de 1978 fue aprobada como consecuencia de la primera crisis del petróleo de 1973. Cuando la mencionada crisis del petróleo alcanzó los mercados mundiales en 1973, 16,9 % de la electricidad en Estados Unidos era generada utilizando el petróleo y el 18,3% se generaba en plantas de gas⁴⁹⁴. La preocupación por la escasez de suministros de gas y petróleo llevaron al Congreso de Estados Unidos a promulgar la mencionada Ley en 1978. Se prohibió la construcción de nuevas centrales eléctricas que hicieran uso del petróleo o gas como combustible primario. La ley también restringe el uso de petróleo y gas para aplicaciones industriales y alentó el desarrollo de centrales nucleares y de carbón⁴⁹⁵.

En 1987, el petróleo representó apenas 4.6 por ciento de la generación de electricidad de Estados Unidos (frente al 16,9 por ciento en 1973); el gas se había

reducido a casi un 10,6 por ciento (frente al 18,3 por ciento en 1973). La Ley de Utilización de Gas Natural de 1987 permitió que las empresas de servicios eléctricos y la industria la utilización de gas natural nuevamente.

La segunda razón para la reactivación del mercado de gas natural estuvo asociada con dos leyes aprobadas por el Congreso de Estados Unidos que ayudaron a eliminar regulaciones en los mercados de electricidad. La Ley de Políticas Regulatorias para Servicios Públicos de 1978 (PURPA, por sus siglas en inglés) rompió la integración vertical de los servicios públicos al permitir que los productores independientes de energía pudiesen entrar en el mercado de generación de electricidad. La Ley de Política Energética de 1992 (EPACT, por sus siglas en inglés) creó el marco para un mercado eléctrico competitivo al por mayo⁴⁹⁶.

EPACT encargó a la Comisión Federal Reguladora de Energía (FERC, por sus siglas en inglés) a abrir los sistemas de transmisión de electricidad nacional y eliminar las barreras que impedían que las plantas de energía no catalogadas pudiesen entrar en estos mercados. La mayoría de estas nuevas plantas de energía se anticipaba de producción a gas.

La tercera razón para la reactivación del mercado de gas natural fue tecnológica. La tecnología de turbinas de gas había mejorado constantemente desde la era posterior a la Segunda Guerra Mundial. La aparición de las plantas de ciclo combinado, duplicó la eficiencia de las plantas de gas entre 1970 y 1990 (véase Figura 10.2). En el momento en que EPACT fue promulgada en 1992, las nuevas plantas con turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT, por sus siglas en inglés) tuvieron eficiencias de conversión térmica por encima del 50%. Las tasas de eficiencia de conversión térmica han ido mejorando de forma constante hasta llegar a valores de aproximadamente 60%. La tasa de eficiencia de conversión térmica se refiere al porcentaje de la energía de calor creado por la combustión que realmente se convierte en energía mecánica y luego en la electricidad.

A diferencia de las plantas CCGT, una planta típica de carbón tiene una eficiencia térmica de aproximadamente 33 por ciento. Esto significa que dos tercios de la energía térmica creada en la combustión de carbón son desperdiciados.

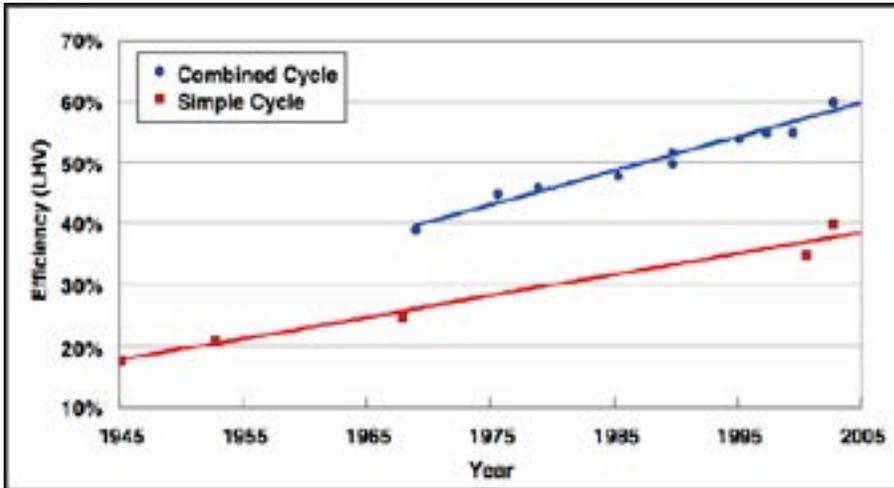


Figura 10.2: Aumento de la eficiencia general en el tiempo para las turbinas de gas simples y de ciclo combinado (Fuente Massachusetts Institute of Technology)⁴⁹⁷

Por las tres razones anteriormente descritas; la Ley de Utilización de Gas Natural de 1987, que permitió a la industria y los servicios públicos eléctricos hacer uso del gas natural una vez más; la eliminación de regulaciones de los mercados eléctricos; y las mejoras en la tecnología de turbinas de gas, se presentó un cambio dramático en los mercados de energía. Este cambio benefició al gas natural (y más tarde a la energía solar y eólica).

La mayoría de las plantas de carbón en Estados Unidos están en edad de jubilación o cerca de ella. Una planta de energía a carbón típica dura cuarenta años. Más de 540 GW (51%) de la capacidad total de generación en Estados Unidos es mayor de treinta años, según la Agencia de Información en Energía (véase Figura 10.3). Más del 74% de toda la capacidad de generación a base de carbón es mayor de treinta años. Todas estas plantas tendrán que ser reemplazado en los próximos diez o veinte años. De hecho, gran parte de estas plantas está muy pasada de su edad de jubilación (aproximadamente cuarenta años) y está en el período de soporte vital de mantenimiento.

¿Qué va a sustituir estas plantas envejecidas y a las plantas nucleares? La evidencia en Estados Unidos sugiere que el carbón y la energía nuclear están frente a la puerta de salida. La mayor parte de nueva capacidad de generación añadida en las dos décadas anteriores a 2012 ha sido a base de gas natural y de energía eólica (véase Figura 10.3). ¿Cómo planean las empresas eléctricas de Estados Unidos reemplazar el envejecimiento de las plantas de energía? NV Energy ofrece un ejemplo de ello.

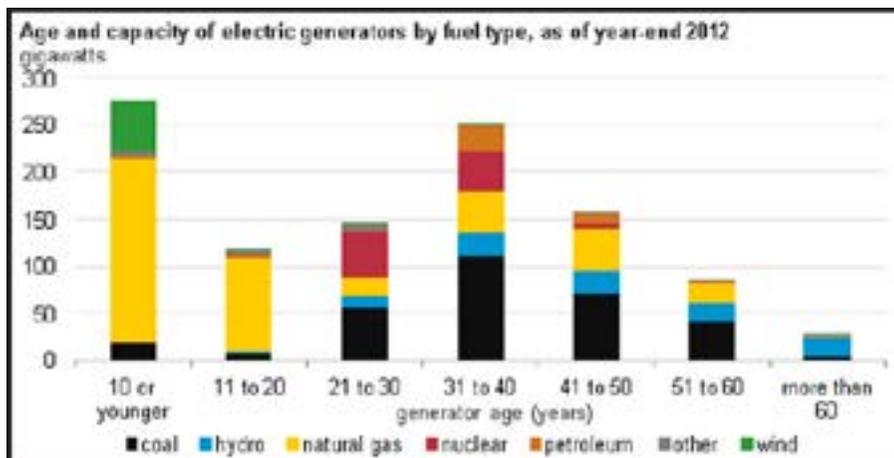


Figura 10.3: Edad y capacidad de generación de generadores eléctricos existentes en Estados Unidos por tipo de combustible (Fuente Energy Information Agency)⁴⁹⁸

En abril de 2013, NV Energy anunció su estrategia de inversión en la capacidad de generación para 2025. Es una estrategia dividida en dos, a la que denomina NVision⁴⁹⁹

- Cerrar sus cuatro plantas de carbón. El plan prevé el cierre de sus tres plantas en Moapa en 2014 y su cuarta planta en el año 2017, momento en el cual NV Energy no tendrá más generación a base de carbón en el sur de Nevada.
- En lugar de carbón, la empresa de servicios va a invertir en el gas natural y en energías limpias en una proporción de 60%-40% respectivamente.

NV Energy había firmado previamente un contrato a 25 años con SolarReserve para construir una planta de energía solar de uso continuo con capacidad de 110MW en Crescent Dunes, Nevada. Esta planta solar cuenta con la capacidad de almacenar diez horas de energía, por lo que puede producir electricidad solar bajo demanda cada vez que los clientes necesitan.

La producción de energía solar bajo demanda ya ha demostrado su capacidad en mercados como el español, pero Nevada será una gran prueba cuando la planta Crescent Dunes abra operaciones a principios de 2014. NV Energy solicitó la compra de la energía solar en periodos con pico de demanda por 13,5 centavos de dólar por kWh, un precio muchas veces menor que el de las plantas de gas natural en horas pico. Hablándole a mi clase en la Universidad de Stanford, Kevin Smith, CEO de SolarReserve, dijo que su compañía está tratando de reducir sus costos de producción a la mitad en los próximos cinco años.

Poco después de que NV Energy anunció su nuevo plan para los próximos 12 años, la empresa fue adquirida por MidAmerican Holdings⁵⁰⁰. MidAmerican Holdings, una filial de Berkshire Hathaway, de Warren Buffett había invertido previamente entre 2 y 2,5 billones de dólares para adquirir un proyecto de desarrollo en energía solar que resultará en la planta de energía solar más grande del mundo (579 MW) cuando se inaugure en 2015.⁵⁰¹

De acuerdo con un reporte de los Servicios de Investigación del Congreso de Estados Unidos, a excepción de las plantas que ya están en construcción, “no hay nuevas plantas de carbón en proyectadas en Estados Unidos”⁵⁰². La industria del carbón puede culpar a las nuevas regulaciones, pero es un hecho que las plantas de carbón han representado menos del 10% de la nueva capacidad de producción energética en Estados Unidos desde principios los años 1990.

La energía a base de carbón no está muriendo porque sea sucia, sino debido a que es poco competitiva. La energía a base de carbón en Estados Unidos ya es obsoleta. La energía a base de carbón está perdiendo rápidamente su cuota de mercado en Estados Unidos frente a el gas natural, la energía solar y eólica.

Pero la energía a base de carbón todavía no está muerta. Como si se tratase de un monstruo de cinco cabezas, el carbón está alzando sus cabezas hacia otros lugares del planeta.

“Captura Regulatoria”: Cómo los Gobiernos Protegen a la Industria del Carbón

La “captura regulatoria” que sucede cuando una agencia reguladora que se supone fue concebida para regular una industria en nombre de los intereses de los usuarios, comienza a hacer lo contrario; regula a los usuarios en pro de la industria. En otras palabras, “captura regulatoria” es cuando los reguladores comienzan a jugar con el sistema para beneficiar a las empresas que se supone que deben regular. La “captura regulatoria” puede permitir a las empresas generar contaminación masiva con el pleno conocimiento de que el gobierno los protegerá y de que los contribuyentes va a pagar por los costos de limpieza. La “captura regulatoria” es inherente al mundo de la energía convencional.

La energía a base de carbón está muriendo en Estados Unidos. A medida que las empresas eléctricas emigran hacia el gas natural, la energía eólica y la energía solar, pero el carbón aun genera entre el 40 y el 50% de la electricidad en todo el mundo y ese porcentaje puede crecer en los próximos años. Sólo China

consumió 46% del carbón mundial en 2010⁵⁰³. Entre la India y China, nuevas plantas de carbón con capacidad total de 1TW; el equivalente de toda la electricidad generada a partir de todas las fuentes en Estados Unidos, están esperando ser desarrolladas en los próximos años.

China es el segundo mayor en subsidios; a través de los impuestos, del mundo de la energía, con subsidios anuales de 279 billones de dólares. Estados Unidos es el más grande en subsidios (502 billones de dólares), de acuerdo con un reporte entregado por el Fondo Monetario Internacional⁵⁰⁴. Los subsidios a los combustibles domésticos en la India llegaron a representar un 2% del PIB en el período comprendido entre 2011 y 2012. Pero estos subsidios no se encontrarán en el presupuesto del gobierno. “Los subsidios de combustible se han financiado a través de diversos canales, incluyendo fuentes extrapresupuestarias”, según el informe del FMI.

Mientras los gobiernos de China e India sigan apoyando la energía a base de carbón y proporcionan protección reglamentaria y apoyo financiero a esta industria, el carbón va a prosperar en los dos países más poblados del mundo. Los gobiernos de otros países del mundo tienen organizaciones financieras multinacionales con sus propias agendas. El Banco de Cooperación Internacional de Japón ha proporcionado más de 10 billones de dólares para financiar proyectos de energía a base carbón⁵⁰⁵.

Estos países ciertamente no están financiando la energía a base de carbón sobre la base de planes de negocios creíbles. Los costos de combustibles fósiles son extremadamente volátiles en el corto y mediano plazo, e históricamente suben a largo plazo. Los precios del petróleo aumentaron más de 14 veces en menos de una década (entre 1999 y 2008). Los precios del gas natural son igualmente volátiles. El carbón no está exento a esta regla es “caro y volátil”.

De acuerdo con la Agencia de Información en Energía de Estados Unidos, el precio FOB de una tonelada de carbón en Estados Unidos aumentó de \$6,34 en 1970 a \$36,91 en 2011 (véase Figura 10.4). (FOB, o libre a bordo, significa el precio en la mina, que no incluye el costo de asegurar o transportar el carbón, ya sea en Estados Unidos o en el extranjero.) Los precios del carbón han aumentado en 5,8 veces desde 1970. Mientras tanto, el costo de la energía solar se ha reducido 154 veces. La energía solar ha mejorado relación de costos relativa al carbón casi novecientas veces desde 1970.



Figura 10.4: Precios FOB del carbón en Estados Unidos en USD por tonelada corta (Fuente Energy Information Agency)⁵⁰⁶

Los precios del carbón han subido a pesar de aumentos de la producción y el aumento de la cuota de mercado desde 1970. Los precios disminuyeron en el período 1980-2000 (véase Figura 10.4) lo que se corresponde con las ganancias de productividad y los despidos masivos en la industria. La industria de la minería del carbón aumentó su producción en un 21% desde 1980 hasta 2000, mientras que dejó de lado al 69% de su fuerza laboral. El número de empleados de la industria se redujo de 228,569 en 1980 a 71,522 en 2000 (véase Figura 10.5). Desde 2000, los precios del carbón han recuperado la tendencia al alza⁵⁰⁷. Desde 2000, los precios del carbón han recuperado la tendencia al alza mientras que la productividad ha alcanzado una meseta e incluso pareciera haber reservado un lugar de por vida.

¿A Dónde se dirigen los precios del carbón? Al igual que con todos los combustibles fósiles, los precios del carbón tienen una tendencia hacia arriba. El aumento de la productividad a corto plazo puede dar una industria la oportunidad de declarar públicamente una “nueva era de energía barata”. Los medios de comunicación, los políticos, los reguladores, y otros participantes en la discusión podrían entonces convencer al público de la llegada de un paraíso energético basado en recursos sucios (carbón, gas, petróleo, energía nucleares). Pero la evidencia es clara: los precios de la energía convencional históricamente han subido.

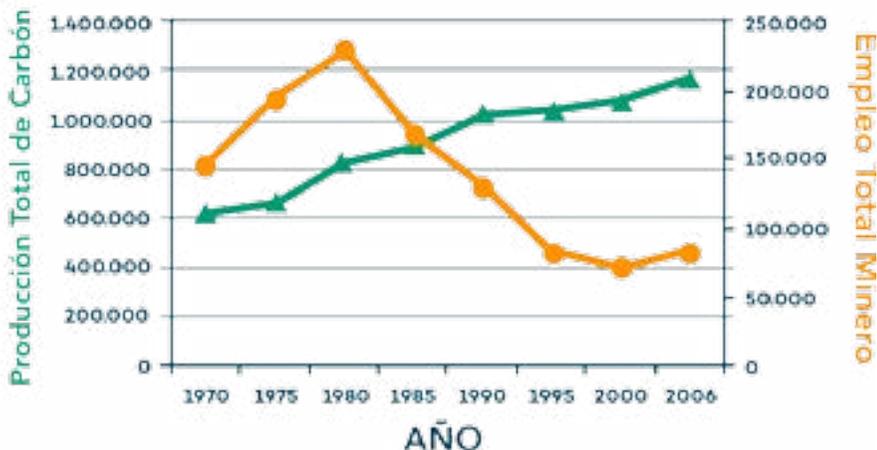


Figura 10.5: Producción total de carbón vs empleo minero de carbón en Estados Unidos.
(Fuente: SourceWatch)⁵⁰⁸

Recuerde, la energía solar ha mejorado su relación de costos en un factor de cuatrocientos; desde \$100 por vatio en 1970 a 25 centavos de dólar por vatio en 2020. En 2020, aun suponiendo que los precios del carbón se establezcan al nivel de los precios actuales (lo cual es difícil de creer), la energía solar ha mejorado su relación de costos relativa al carbón unas 2.700 veces.

La industria del carbón se beneficia cuando el gobierno le da al contribuyente la atribución de pagar por la mayoría de sus costos. A modo de las regulaciones gubernamentales y las leyes, la industria del carbón también se beneficia de terrenos con bajos costos, la capacidad de contaminar el aire, el agua y la tierra a voluntad; así como también de la capacidad de renegar de los costos de las pensiones y de atención de la salud de sus trabajadores⁵⁰⁹.

China: Agua para el Carbón, no para Alimentos

Durante dos décadas, los economistas y los “expertos” en economía China han argumentado sin cesar que el crecimiento del PIB anual de China no es sostenible. Año tras año, China se ha encargado de probar que están equivocados. China ha superado a Estados Unidos como el mayor mercado de automóviles y el mercado de energía más grandes del mundo, lo cual era impensable hace apenas una década.

China, al parecer, ha dominado el arte y la ciencia de la combinación de la planificación central y la iniciativa empresarial basada en el mercado. Si se puede fabricar, China va a fabricarlo. Si se puede construir, China va a construirlo. No hay aparentemente nada que no pueda hacer. ¿O sí?

El único elemento que falta en esta ecuación es uno de los elementos más preciados de la tierra: el agua. El agua barata y abundante ha sido tan importante para la construcción de civilizaciones como la energía barata y abundante. Se necesita agua para generar energía y necesitamos energía para bombear, transportar, limpiar y procesar el agua. Tanto el agua como la energía se necesitan para cultivar alimentos.

La falta de agua es un factor limitante para los combustibles fósiles y la energía nuclear. Alrededor del 15% del agua dulce del mundo se utiliza para la generación de energía, de acuerdo con **el Banco Mundial**⁵¹⁰. Casi la mitad de la población mundial vive en zonas de “alta tensión por el agua” que afecta a la inseguridad de energía y alimentaria.

China ya está en una crisis del agua. China tiene 20% de la población mundial, pero sólo el 7% de su agua dulce. El rápido crecimiento de la industria y la población ha causado que el país drene de forma insostenible en sus ríos y fuentes acuíferos. Desde los años 50, China ha perdido 27.000 de sus 50.000 ríos⁵¹¹. Las cifras que hablan de la crisis del agua de China revelan que: 400 de 600 ciudades, incluyendo 30 de los mayores de 32 ciudades en China, se enfrentan a la escasez de agua en diversos grados. El 90% de las fuentes de agua subterránea en las ciudades están contaminados; 70% de los ríos y lagos están contaminados. Trescientos millones de personas en China no tienen acceso al agua potable⁵¹².

A pesar de la crisis actual, se espera que el uso total de agua aumentará de 599 billones de m³ (158 billones de galones) por año en 2010 a 670 billones de m³ (177 billones de galones) por año en 2020⁵¹³. Esta agua no va a alimentar a la población creciente del país. Se espera que el agua destinada a la agricultura baje del 62% del total de agua dulce del país en 2010 a 54% en 2020. ¿A Dónde va el resto de esta valiosa agua dulce? Directo a calmar la sed insaciable de la industria del carbón.

China, el mayor consumidor mundial de carbón, ya está sintiendo los problemas causados por la sed insaciable del agua dulce por parte del carbón. La industria del carbón bebe 138 billones de m³ (36,5 billones de galones) por año, o 23% del agua dulce del país. Este número se espera que crezca a 188 billones de m³ (49,7

billones de galones) en 2020, elevando el consumo de agua de la industria del carbón China un 28%⁵¹⁴.

Aquí hay otra manera de ver cómo el gobierno en China protege a la industria del carbón. De 2010 a 2020 China aumentará su consumo de agua dulce por 71,9 billones de m³ (19 billones de galones). De ese aumento, 49,9 billones de m³ (13.2 billones de galones) se destinarán al sector del carbón. Es decir, el 69% del aumento de producción de valiosa agua dulce en China irá a la industria del carbón.

En China, el carbón verdaderamente es el rey, y como cualquier rey que se precie, no tiene que pagar por su hábito de beber, no tiene que limpiar luego de pasar, o pagar por cualquiera de sus gastos, sin importar lo extravagantes que sean. El apoyo del gobierno chino para la energía a base de carbón es aún más desconcertante porque el carbón se encuentra en las partes con más problemas de agua del país: el norte y noroeste. El 60% de las nuevas plantas de carbón propuestas en China se concentran en sólo seis provincias (Mongolia Interior, Shaanxi, Gansu, Ningxia, Shanxi y Hebei), que en conjunto enmarcan sólo el 5% del agua dulce en China, según el Instituto de Recursos Mundiales⁵¹⁵. Dentro de esas seis provincias, el 60% de las plantas de carbón se concentran más en las áreas de “tensión alta o muy alta a causa del agua” (véase Figura 10.6).

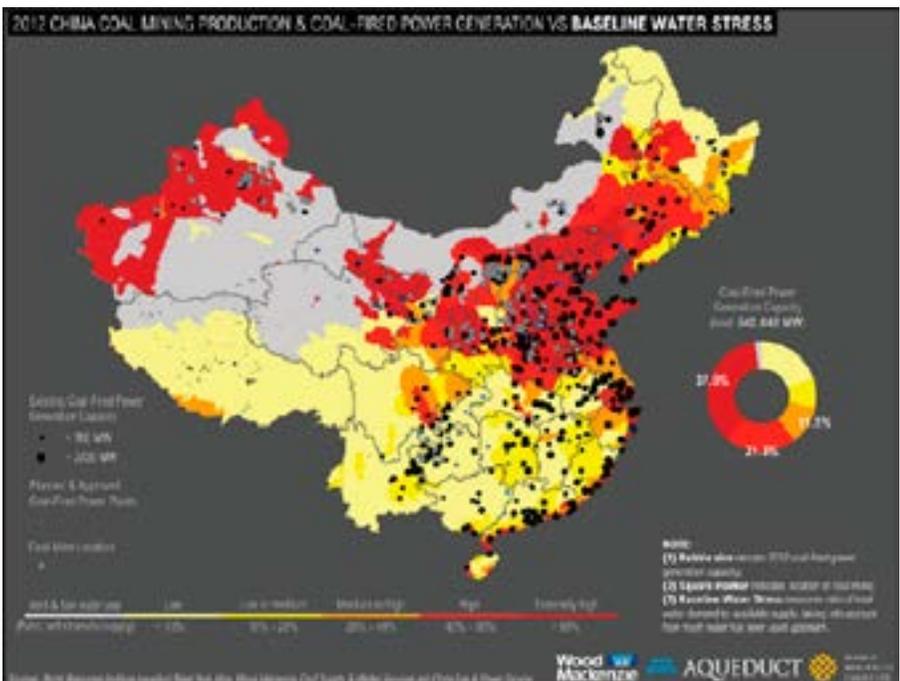


Figura 10.6: Minería del carbón, plantas de energía, y escasez de agua en China (Fuente: World Resources Institute)⁵¹⁶

Para aliviar las preocupaciones de agua, China está construyendo algunos de los mayores proyectos de agua en su historia. Denominado “ South North Water Transfer Project “ es una inversión de 62 billones de dólares y un proyecto de varias décadas para desviar 44,8 billones de m³ (11.8 trillones de galones) de agua de la cuenca del río Yangtzé en el sur hasta el norte árido⁵¹⁷. Compuesto por tres líneas (ruta oriental, central y occidental) que abarcan miles de millas de canales, túneles, ríos y embalses, este proyecto es un gran reto de ingeniería. Solo la ruta oriental será de 716 millas (1.152 kilómetros) de largo y estará equipado con 23 estaciones de bombeo que necesitarán 454 MW de capacidad de energía (la producción de una planta típica de carbón)⁵¹⁸.

Si se revisan bien las cifras, se hace evidente que:

- El sector del carbón, ubicado principalmente en el norte, aumentará su demanda de agua 49,9 billones de m³ (13.2 trillones de galones) entre 2010 y 2020.
- Se espera que el “ South North Water Transfer Project “ entregue 44,8 billones de m³ (11.8 trillones de galones) de agua desde el sur hacia el norte.

En otras palabras, el “ South North Water Transfer Project “ podría ser también conocido como el proyecto de “Agua para el carbón”.

Los costos de la construcción del “South North Water Transfer Project” no serán pagados por la industria del carbón. Como de costumbre, la industria (y los gobiernos complacientes) socializan sus costos mientras privatización de las ganancias.

Mientras tanto, China ha tomado 8,5 millones de hectáreas (21 millones de acres) de tierras de cultivo y producción desde 1998⁵¹⁹. El país también sufre de desertificación a gran escala. De acuerdo con la Administración Estatal de Silvicultura de China, el 27% del país (2,6 millones de kilómetros cuadrados, o 1 millón de millas cuadradas) sufre de desertificación⁵²⁰. La erosión del suelo impacta las vidas de cuatrocientos millones de personas y causa pérdidas económicas de 10 billones de dólares en China, de acuerdo con la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (véase Figura 10.7)⁵²¹.

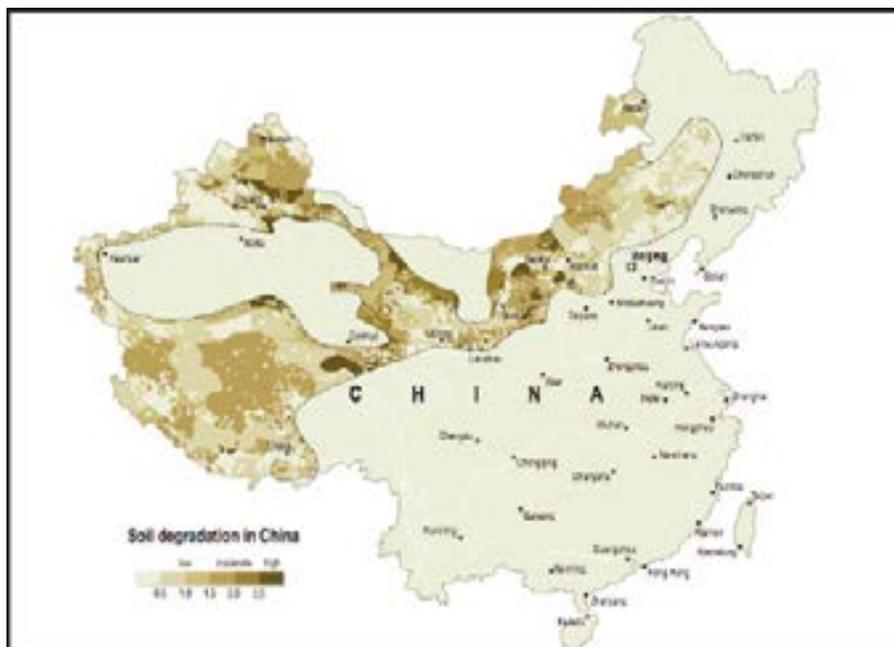


Figura 10.7: Degradación del suelo en China (Fuente: United Nations Convention to Combat Desertification)⁵²²

China está literalmente secando el país para alimentar su industria del carbón.

Wen Jiabao, primer ministro de China desde 2003 hasta 2013, dijo que la escasez de agua amenaza “la supervivencia misma de la nación.”⁵²³ ¿Puede el gobierno de China permitirse mantener sacrificar a su gente para el beneficio de su industria del carbón?

Muerte por Carbón

El 22 de octubre de 2013, el smog en el noreste de China era tan pesado el gobierno cerró carreteras, escuelas y un gran aeropuerto⁵²⁴. La visibilidad era menos de sesenta pies (20 metros) en Harbin, una ciudad de más de diez millones de personas. Todas las autopistas en la provincia de Heilongjiang fueron cerradas.

El aire estaba cargado de un partícula de materia 2.5, también conocida como PM2.5, que había alcanzado una densidad de más de 1.000 microgramos por

metro cúbico, o cuarenta veces el nivel máximo recomendado de la Organización Mundial de la Salud, de 25 microgramos por metro cúbico. Las PM_{2.5} son el resultado de la quema de carbón y los combustibles fósiles como la gasolina, el diesel, y la madera.

El PM_{2.5} causa enfermedades cardiopulmonares, cáncer de tráquea, bronquios y pulmón e infecciones respiratorias agudas⁵²⁵. También conduce a depósitos elevados de placa en las arterias, causando inflamación y aterosclerosis vascular, que puede conducir a ataques cardíacos y otros problemas cardiovasculares. Incluso la exposición a corto plazo a las PM_{2.5} en concentraciones elevadas puede causar enfermedades del corazón.

De acuerdo con el San Francisco Bay Area Air Quality Management District, en una población del tamaño de la zona de la Bahía (7,2 millones en 2010), la reducción de PM_{2.5} ambiente en un 1 microgramo por metro cúbico puede ahorrar alrededor de 11.530 días de trabajo que de otra manera se perderían. El nivel en Harbin, China fue de 1.000 microgramos por metro cúbico⁵²⁶.

La contaminación del aire en China es una catástrofe humana. La contaminación del aire exterior causó 1,2 millones de muertes prematuras en China, de acuerdo con la revista médica *The Lancet*⁵²⁷.

Dentro de China, las diferencias en la esperanza de vida con respecto a la contaminación del aire son elocuentes. La esperanza de vida en el norte de China es de 5,5 años menos que el sur de China debido a las enfermedades del corazón y los pulmones causadas por la quema de carbón, según un reciente estudio publicado por *Proceedings of the National Academy of Sciences*⁵²⁸.

Gran parte de las discusiones sobre el carbón tienen que ver con los efectos dañinos a largo plazo, asociados con el calentamiento global, pero el carbón ya es una de las principales causas de muerte y enfermedad en todo el mundo.

El carbón no es barato. Se está pagando por el con viajes al hospital, la pérdida de vidas, menor producción económica y la pérdida de calidad de vida. La industria del carbón obtiene los beneficios y la gente paga los costos.

India tiene creciente catástrofe humana causada por el carbón. La contaminación del aire exterior causó 600.000 muertes en la India en 2010⁵²⁹. El país tiene alrededor de 120GW producidos a base de carbón actualmente, pero se ha propuesto la construcción de 519 GW de plantas de carbón adicionales. Los depósitos de carbón de la India se componen principalmente de lignito⁵³⁰. El lignito es considerado el carbón más baja calidad, de acuerdo con las clasificaciones de la industria⁵³¹. El lignito tiene hasta diez veces el número de compuestos orgánicos

volátiles de la antracita. Debido a que el lignito tiene un contenido calorífico inferior, necesita ser sometido a más calor para obtener la misma cantidad de energía en forma de antracita⁵³².

Si 519 GW adicionales de capacidad de energía producida a base de carbón se pone en línea en la India, el país cuadruplicará su capacidad de infraestructura de energía a base de carbón utilizando el lignito, el carbón más baja calidad. El lignito genera diez veces más partículas de carbón de antracita. La cifra de muertos en la India debido a la contaminación de carbón podría ser un orden de magnitud mayor de lo que es hoy, seis millones de muertes al año. Que el Gobierno de la India apoye a sabiendas este esquema está más allá de la comprensión racional.

Por otra parte, las necesidades de agua de la industria del carbón pueden devastar un país ya devastado por la mala gestión del agua y la desertificación. Informes hindúes sobre la degradación del suelo han aumentado por un factor de seis, de acuerdo con la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación⁵³³.

A pesar de los millones de muertes causadas por la contaminación del aire a causa del carbón, las agencias gubernamentales que proponen aumentos en la producción de carbón, lo hacen porque, dicen, “el carbón es barato.” ¿Es esto realmente cierto?

Vidas estadounidenses también se ven afectados por la contaminación de carbón. Según la Asociación Americana del Pulmón, la contaminación de carbón causa más de 24.000 muertes prematuras en Estados Unidos debido al efecto tóxico del carbón en los pulmones y otras partes del cuerpo⁵³⁴. Para poner esta cifra en perspectiva, considere esto: entre 2001 y 2013, 5.281 soldados estadounidenses murieron en combate⁵³⁵. Durante estos trece años, más de 312.000 estadounidenses murieron a causa de la contaminación del carbón.

El carbón cuesta a Estados Unidos 500 billones de dólares al año en salud, economía y daños ambientales, según un informe de la Universidad de Harvard⁵³⁶. Es decir, cada hombre, mujer y niño en Estados Unidos paga más de \$1.600 al año por los daños causados por la minería, el transporte y la quema de carbón. Es un impuesto masivo.

Si la industria del carbón pagara por los daños externos que provoca, tendría que pagar a sus usuarios 26.89 centavos de dólar por kWh⁵³⁷. En otras palabras, los contribuyentes estadounidenses están subsidiando la industria del carbón por una suma de centavos de dólar por kWh.

La industria del carbón no existiría si existiese un mercado libre de energía y este no estuviese protegido por el gobierno. En un mercado libre, las empresas no podrán descargar los costos de la contaminación en los usuarios con la bendición y la protección de su gobierno.

¿Cuándo la destrucción de la vida humana va a pasar a ser más importante que la industria del carbón? ¿Cuándo los reguladores del gobierno van a dejar de ayudar e instigar a la industria del carbón en el asesinato de millones de seres humanos?

La Disrupción Final del Carbón

En el otoño de 2013, dicté un curso de estrategia de innovación de la tecnología de dos días a algunos altos ejecutivos de Beijing. Era un día fresco y soleado en la Universidad de Stanford. Durante nuestra hora de almuerzo, fui con mi clase para una sesión de fotos en el Quad (véase Figura 10.8). No me canso de admirar el jardín de esculturas de Rodin en Stanford, la Iglesia Memorial, y la forma en que los arcos se alinean con sus sombras. Me di cuenta de varios alumnos mirando hacia arriba y tomaban fotografías del cielo azul. Le pregunté lo que encontraron interesante sobre el cielo y me respondieron: “Nunca podemos ver un cielo azul en China. Nunca. ¡Es tan hermoso!”.

Mi respuesta fue “Podrán hacerlo. En 2030. Les dije “Yo llevo los cursos de disrupción” a lo que sólo sonrieron y dijeron al unísono” Esperamos que así sea”.

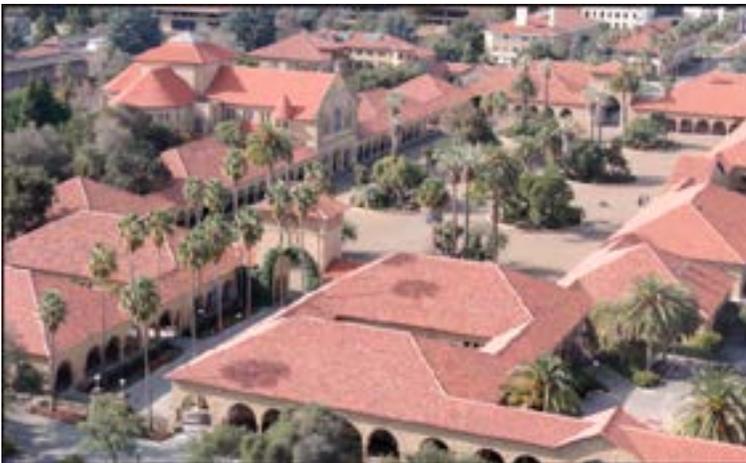


Figura 10.8: Quad en la Universidad de Stanford (Foto: Tony Seba)

No es que espero que los proyectos de escala continental de ingeniería de Rube Goldberg que apoyan la industria del carbón vayan a terminar pronto. Yo sólo espero que las centrales eléctricas de carbón se conviertan en activos varados.

Los grupos de presión y sus amigos en las agencias reguladoras continuarán tejiendo historias y difundiendo información errónea para proteger a la industria del carbón. Sin embargo, cuando la energía solar sin subsidio llegue a ser más barata que el carbón subvencionado, será difícil para los políticos y los reguladores orquestar una narrativa convincente sobre los beneficios del carbón. Será difícil que los ciudadanos entreguen sus vidas y su dinero para apoyar a la industria del carbón, cuando existirá una alternativa más barata y más limpia.

Las empresas eléctricas todavía cuentan la misma historia de siempre acerca de que la electricidad es un “monopolio natural”. Los monopolios eléctricos integrados verticalmente están acostumbrados a un modelo en el que transfieren cualquier aumento en los costos hacia los contribuyentes. Las empresas eléctricas aman las plantas de energía intensivas en capital, como las de carbón y las de energía nuclear, debido a que con el aumento de los costos de combustible este tipo de plantas aumentan el flujo de capital de las empresas eléctricas cada año.

La energía solar es perjudicial para ese modelo de negocio. Los precios de la energía solar se mueven hacia abajo, no hacia arriba. La energía solar se puede instalar en los techos de los clientes sin ayuda de las empresas de servicios. Las instalaciones solares no necesitan combustibles que tenga que ser extraídos, procesados, transportados, quemados o arrojados de nuevo en el suelo.

Los precios del carbón se han incrementado en 5,8 veces desde 1970 (véase Figura 10.4). Los precios del carbón no sólo están aumentando; además son volátiles. Las empresas de carbón están muy conscientes de la volatilidad en los precios del carbón y están sacando provecho de esta situación. En el segundo trimestre de 2013, Cloud Peak Energy hizo más dinero jugando con derivados financieros que con la venta de carbón⁵³⁸. El flujo de energía se transforma en flujo de capital. La volatilidad también se transforma en flujo de capital. Pero no se puede garantizar el mismo precio durante veinte años como si lo puede hacer la energía solar y eólica.

La buena noticia es que, a pesar de la protección masiva y los subsidios a la industria del carbón, el carbón ya está siendo vencido por energía solar y eólica. De acuerdo con los modelos compilados por Bloomberg, una planta típica nueva de carbón producirá energía por 12.8 centavos de dólar por kWh⁵³⁹. La energía solar ya está derrotando a este costo. Proyectos de 50 MW de First Solar venderán la energía solar a El Paso Electric por 5.79 centavos de dólar por kWh⁵⁴⁰. Los contribuyentes de Nuevo México pagarán por la energía solar menos de la

mitad de lo que habrían pagado para el carbón. Mejor aún, tendrán que pagar este precio bajo por la duración del contrato: veinte años.⁵⁴¹

En California, la industria solar está en camino de sustituir el modelo de los servicios públicos existentes. Danny Kennedy, co-fundador de Sungevity, me dijo recientemente, “más del 90% de nuestros clientes comenzarán a ahorrar dinero desde el primer día”.

Silicon Valley ha construido industrias enteras basadas en las leyes de las mejoras exponenciales (como la Ley de Moore) que rigen la tecnología de la información. Durante décadas, las empresas de Silicon Valley sin descanso y consistentemente han reducido el costo de todos los aspectos de la informática. El teléfono inteligente de hoy tiene más potencia de cálculo que un supercomputador de ayer. El costo de la energía solar, como el coste de la informática, cae sin descanso mientras que la calidad de la energía solar crece.

La misma gente que hizo posible Apple, Intel y Google ahora está haciendo posible la electricidad solar. El bit sustituyó al átomo. Seguidamente, el bit junto con el electrón sustituirá a la industria de los servicios públicos basada en átomos. La era de la energía industrial está dando paso a la era de la energía basada en el conocimiento. Es así de simple. Ya no es necesaria la ingeniería energética de Rube Goldberg (véase Figura 10.9).



Figura 10.9: Una máquina de Rube Goldberg en la sede de Google en Mountain View, California. (Máquina construida por Christopher Westhoff (Foto: Tony Seba)⁵⁴²

En 2020, el costo de los paneles solares se reducirá en dos tercios. Es decir, la energía solar sin subsidio será mucho más barata que el carbón subvencionado. Incluso los costos de instalaciones solares residenciales serán menores que los costos de generación de carbón al por mayor.

El costo total previsto de la construcción de una planta de energía solar a gran escala en 2020 será de \$0.65 por vatio, según GTM y Citibank⁵⁴³. Este número no será difícil de lograr. De hecho, ya casi estamos allí. Como he mencionado en este libro, las instalaciones solares residenciales ya cuestan \$1.40 por vatio en Australia. Plantas de energía grandes tienen costos mucho más bajos que las de aplicación residencial. Considerando que la curva de aprendizaje de la energía solar se mantenga durante los próximos seis años, no sería nada sorprendente que el costo total de instalación de una planta solar sea menor de \$0.50 por vatio para el año 2020.

Suponiendo que la estimación de Citibank de \$0.65 por vatio para construir una planta solar para el año 2020 sea correcta, la construcción de una planta de energía solar cerca de Los Ángeles y su financiación a un rendimiento del 4% permitiría conseguir una planta que produce electricidad a 3.4 centavos de dólar por kWh. Este costo nivelado de la electricidad incluye seguro, operaciones, mantenimiento y desmantelamiento. Ninguna fuente de energía sucia sin subsidio en la tierra puede producir energía en este costo. No puede la energía nuclear. No puede el carbón. No puede el gas natural. No puede el petróleo. No pueden hacerlo ahora. No podrán en 2020. Y ciertamente no podrán en 2030.

La industria del carbón no existiría sin el apoyo masivo de los gobiernos y los ciudadanos que subsidian la mayor parte de sus costos. Incluso dentro de un marco de "captura regulatoria", el carbón no puede competir con una curva de costos como la de la energía solar. La energía solar ha mejorado su relación de costos relativa al carbón novecientas veces y llegará a incrementar esa ventaja por lo menos 2.700 veces en 2020.

La única fuente de energía que le ganará a una planta solar construida en 2020 es una planta solar construida después de 2020. Eso es porque los costos de la energía solar seguirán disminuyendo en el futuro. Después de que se pague la hipoteca de 20 años, los paneles seguirán generando energía solar a un costo de prácticamente nulo. Los nuevos paneles solares suelen estar garantizados a 20 años, pero debido a las mejoras en la calidad, se espera que puedan trabajar durante muchas décadas después de las dos primeras. Su producción probablemente disminuirá (probablemente, un 1% por año), pero una planta solar de 3 kW que se construyó en 2014 probablemente producirá 2.4 kW veinte años más tarde, en 2034, por cero centavos por kWh. Los paneles probablemente todavía serán agradables si producen 2,2 kW en 2044 y 2 kW en 2054, por cero centavos por kWh.

Al igual que el costo de la tecnología informática, el costo de la energía solar va a seguir bajando hasta donde se puede prever. Vamos a experimentar algo que el mundo nunca ha experimentado antes: primero la deflación costo de la energía, y luego la aparición de energía abundante, participativa y limpia. Y, por supuesto, el sol brillará de nuevo en Beijing y esta ciudad tendrá sus cielos azules sobre sus edificios.

El carbón es obsoleto. Las inversiones en carbón se convertirán en activos varados.

Acerca del Autor



Tony Seba es profesor de iniciativa empresarial, disrupción y energía limpia en la Universidad de Stanford. Algunos de sus cursos son “Understanding and Leading Market Disruption”, “Clean Energy and Clean Transportation; Market and Investment Opportunities” y “Finance for Entrepreneurs”.

Tony Seba es el autor de *Solar Trillions*, *7 Market and Investment Opportunities in the Emerging Clean Energy Economy* y también de *Winners Take All*, *9 Fundamental Rules of High Tech Strategy*.

Tony Seba está actualmente asesorando al desarrollo de más de 400 MW de energía solar y de plantas de energía eólica a nivel mundial. También ha asesorado a inversionistas de riesgo en inversiones a empresas de alta tecnología. Es asesor de energía solar con Powerhouse.

Es un empresario y ejecutivo de Silicon Valley con más de 20 años de experiencia en negocios disruptivos de tecnología con rápido crecimiento. Fue uno de los primeros empleados de Cisco Systems y del organismo regulativo de la seguridad de internet en RSA Data Security. Como director de planificación estratégica de RSA Data Security, ayudó a la compañía con el nuevo producto y la creación de mercados. También ayudó a guiar la fusión de 200 millones de dólares con Security Dynamics. Fue co-fundador, presidente y CEO de PrintNation.com, por la que recaudó más de 31 millones de dólares en fondos de riesgo. Estableció PrintNation.com como el líder indiscutible en su segmento de mercado y llevó la disrupción a esa industria de 100 billones de dólares. La compañía ganó numerosos premios y fue incluida en el ranking Hot 100 de Upside y el B2B de Forbes.com como “Mejor de la Web”.

Tony Seba es reconocido como un líder intelectual y orador principal en emprendimiento, disrupción, y tendencias de futuro en energía y transporte. Sus clientes incluyen a Google, la Liga de Ciudades de California, el Banco Interamericano de Desarrollo, y el Instituto para el Futuro.

Su liderazgo ha sido reconocido en publicaciones como Investors Business Daily, BusinessWeek, Upside, y Success. Ha sido miembro de numerosos consejos de administración y juntas consultivas. Tiene una licenciatura en Ciencias de la Computación e Ingeniería del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y un MBA de la Escuela de Negocios de la Universidad de Stanford.

Siga a Tony Seba en su página www.tonyseba.com y su cuenta de Twitter [@tonyseba](https://twitter.com/tonyseba).

Notas Finales

- 1 “Exploring the Role Ecosystems in Evolving Cloud Markets”, IBM Smart Cloud White Paper, 2012. http://www.ibm.com/midmarket/lk/en/att/pdf/lk_en_White_Paper_Cloud_2012.pdf
- 2 Bjarin, Ben, “The State of Mobile Technology”, Time, March 5, 2012. <http://techland.time.com/2012/03/05/the-state-of-mobile-technology/>
- 3 Constine, Josh, “40% of YouTube traffic Now Mobile”, TechCrunch.com, Oct 17, 2013. <http://techcrunch.com/2013/10/17/youtube-goes-mobile/>
- 4 “Explaining the NOAA Sea Level Rise Viewer”, Climate.Gov, Oct 29, 2013. <http://www.climate.gov/news-features/videos/explaining-noaa-sea-level-rise-viewer>
- 5 J. Alstan Jakubiec and Christoph F. Reihart, “Towards Validated Urban Photovoltaic Potential and Solar Radiation Maps based on Lidar measurements, GIS data, and hourly days in simulations”, Building Technology Program, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- 6 Edelstein, Stephen, “Nissan Shows Fully Autonomous Cars it plans to Build by 2020”, GreenCarReports.com, Sept 9, 2013. http://www.greencarreports.com/news/1086566_nissan-shows-fully-autonomous-cars-it-plans-to-build-by-2020
- 7 “TSensor Summit”, Stanford University. <http://www.tsensorsummit.org/>
- 8 Loder, Asjvlyn, “U.S. Shale-Oil Boom May Not Last as Fracking Wells Lack Staying Power”, Business Week, Oct 10, 2013. <http://www.businessweek.com/articles/2013-10-10/u-dot-s-dot-shale-oil-boom-may-not-last-as-fracking-wells-lack-staying-power>
- 9 Lavrinc, Damon, “In Automotive First, Tesla does Over-The-Air Software Patch”, Wired.com, Sept 24, 2012. <http://www.wired.com/autopia/2012/09/tesla-over-the-air/>
- 10 Kumparak, Greg, “Live from iPhone 5S Announcement”, TechCrunch, Sept 10, 2013. <http://techcrunch.com/2013/09/10/live-blog-from-apples-iphone-5s-announcement/>
- 11 “Enough Copper for a Hundred Years”, Materials Today, July 4, 2013. <http://www.materialstoday.com/metals-alloys/news/enough-copper-for-a-hundred-years/>
- 12 Goossens, Ehren, and Martin, Christopher, “First Solar: May Sell Solar at Less than Coal”, Bloomberg News, February 1, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-02-01/first-solar-may-sell-cheapest-solar-power-less-than-coal.html>

- 13 "U.S. Solar Market Insight Report, 2013 Year In Review", Solar Energy Industries Association. <http://www.seia.org/research-resources/solar-market-insight-report-2013-year-review>
- 14 Sherwood, Larry, "Solar Market Trends 2011", Interstate Renewable Energy Council, August 2012. <http://www.irecusa.org/wp-content/uploads/IRECSolarMarketTrends-2012-Web-8-28-12.pdf>
- 15 Seba, Tony, "Will Germany Achieve 100% Solar Power by 2020?", August 6, 2012. <http://tonyseba.com/cleanenergyeconomy/germany-100-solar-power-by-2020/>
- 16 Meikle, Brad, "Meikle Capital, Technology Equilibrium Fund, LP", July 8, 2013 newsletter.
- 17 Meikle, Brad, "Meikle Capital, Technology Equilibrium Fund, LP", July 8, 2013 newsletter.
- 18 Meikle, Brad, "Meikle Capital, Technology Equilibrium Fund, LP", July 8, 2013 newsletter.
- 19 "German solar PV, wind peak at 59.1% of electricity production on October 3rd, 2013", SolarServer.com, Oct 7, 2013. <http://www.solarserver.com/solar-magazine/solar-news/current/2013/kw41/german-solar-pv-wind-peak-at-591-of-electricity-production-on-october-3rd-2013.html>
- 20 Morris, Craig, "Denmark Surpasses 100 percent Wind Power", Energy Transition, Nov 8, 2013. <http://energytransition.de/2013/11/denmark-surpasses-100-percent-wind-power/>
- 21 Morris, Craig, "Denmark Surpasses 100 percent Wind Power", Energy Transition, Nov 8, 2013. <http://energytransition.de/2013/11/denmark-surpasses-100-percent-wind-power/>
- 22 "Germany's Solar Power Systems Set New Solar Record (Germany Crushing US in Solar Power)", Cost Of Solar, Nov 2013. <http://costofsolar.com/germany-solar-power-systems/>
- 23 Davis, Tina, and Goossens, Ehren, "Buffett Utility Buys \$2.5 Billion SunPower Solar Projects", January 2, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-01-02/buffett-utility-buys-sunpower-projects-for-2-billion.html>
- 24 MidAmerican Energy, US SEC Form10K for fiscal year ended December 31, 2012. http://www.midamerican.com/include/pdf/sec/20121231_79_mec_annual.pdf
- 25 "\$1 Billion Bond Offering Completed for World's Largest Solar Project", SustainableBusiness.com, June 28, 2013. <http://www.sustainablebusiness.com/index.cfm/go/news.display/id/25018>
- 26 Shahan, Zachary, "Shell Bullish on Solar Despite Dropping Solar", SolarLove.org, March 3, 2013. <http://solarlove.org/shell-bullish-on-solar-despite-dropping-solar-but-much-more-in-its-new-scenarios-than-that/>

- 27 Global Market Outlook 2013-2017", EPIA European Photovoltaic Industry Association. http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf
- 28 Meza, Edgar, "China's Solar Capacity to Reach 10 GW in 2013", PV Magazine, December 4, 2013. http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/chinas-solar-capacity-to-reach-10-gw-in-2013_100013650/
- 29 Wikipedia contributors, "Solar Power in Germany", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_in_Germany
- 30 Wikipedia contributors, "Solar Power in Germany", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_in_Germany
- 31 National Transmission Development Plan for the National Electricity Market", Australia Market Operator, December 2013, AEMO Australian Energy Market Operator, ABN 94 072 010 327. http://www.pennenergy.com/content/dam/Pennenergy/online-articles/2013/December/2013_NTNDP.pdf.pdf
- 32 Wind In Power – 2011 European Statistics", The European Wind Energy Association, Feb 2012. http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/Wind_in_power_2011_European_statistics.pdf
- 33 Platzer, Michaela D, "U.S. Solar Photovoltaic Manufacturing: Industry Trends, Global Competition, Federal Support", Congressional Research Service, June 13, 2012, R42509. www.crs.gov
- 34 ReConsidering the Economics of PV Power", Bloomberg New Energy Finance, 2012.
- 35 Petroleum and other Liquids", US Energy Information Agency. http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=F000000__3&f=A
- 36 "1970 Economy / Prices", 1970sFlashback.com. <http://www.1970sflashback.com/1970/economy.asp>
- 37 Kind, Peter, "Disruptive Challenges: Financial Implications and Strategic Response to a Changing Retail Electric Business", Edison Electric Institute, January 2013.
- 38 Linbaugh, Kate, and Kell, John, "GE Ends Solar-Panel Push, Sells Technology to First Solar", Wall Street Journal, August 6 2013. <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424127887323514404578652533484101340>
- 39 Montaigne, Fen, "A Power Company President Ties His Future to Green Energy", Yale Environment 360, November 9, 2011. http://e360.yale.edu/feature/solar_power_nrg_president_crane_ties_future_to_renewable_energy/2462/

- 40 The Impact of Local Permitting on the Cost of Solar Power”, SunRun, January, 2011. http://www.sunrun-home.com/download_file/view/414/189
- 41 Rinaldi, Nicholas, “Solar PV Modules Costs to Fall to 36 cents per watt by 2017”, Greentech Media, June 18, 2013. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-module-costs-to-fall-to-36-cents-per-watt>
- 42 Statistic data on the German Solar power (photovoltaic) industry”, German Solar Industry Association (BSW-Solar), April 2014. http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/2013_2_BSW-Solar_fact_sheet_solar_power.pdf
- 43 Martin, James, “Solar PV Price Index – July 2013”, Solar Choice, July 4, 2013. <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-pv-price-index-july-2013/>
- 44 Seel, Joachim, Barbose Galen, and Wiser, Ryan, “Why Are Residential PV Prices in Germany So Much Lower Than in the United States? A Scoping Analysis”, Lawrence Berkeley National Laboratory, September 2012. <http://rael.berkeley.edu/sites/default/files/lbnl-german-price-presentation-final.pdf>
- 45 Martin, James, “Solar PV Price Index – July 2013”, Solar Choice, July 4, 2013. <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-pv-price-index-july-2013/>
- 46 Drury, Easan, Denhom, Paul, and Margolis, Robert, “Sensitivity of Rooftop PV Projections in the SunShot Vision Study to Market Assumptions”, National Renewable Energy Lab, NREL/TP-6A20-54620, January 2013.
- 47 Woody, Todd, “First Solar Shares Spike As It Pursues Big Solar Without Subsidies Strategy”, Forbes.com, July 2, 2012. <http://www.forbes.com/sites/toddwoody/2012/08/02/first-solar-shares-spike-as-it-pursues-big-solar-without-subsidies-strategy/>
- 48 Rinaldi, Nicholas, “Solar PV Modules Costs to Fall to 36 cents per watt by 2017”, Greentech Media, June 18, 2013. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-module-costs-to-fall-to-36-cents-per-watt>
- 49 Channell, Jason, Lam, Timothy, and Pourreza, Shahriar, “Shale & Renewables: A Symbiotic Relationship”, Citi Research, Sept 12, 2012.
- 50 Channell, Jason, Lam, Timothy, and Pourreza, Shahriar, “Shale & Renewables: A Symbiotic Relationship”, Citi Research, Sept 12, 2012.
- 51 Historical California Electricity Demand”, California Energy Commission, CA Energy Almanac. http://energyalmanac.ca.gov/electricity/historic_peak_demand.html

-
- 52 ReneSola, 156 Series Monocrystalline Solar Module, Irradiation efficiencies vary from 15.9% to 16.2%. <http://www.renesola.com>
- 53 Martin, James, "Solar PV Price Index–July 2013", Solar Choice, July 4, 2013. <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-pv-price-index-july-2013/>
- 54 Martin, James, "Solar PV Price Index–July 2013", Solar Choice, July 4, 2013. <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-pv-price-index-july-2013/>
- 55 Scott, Brandon, "Powering the Future – Small City has Big Solar Goals", CBS News, August 19, 2013. <http://www.cbsnews.com/news/powering-the-future-small-city-has-big-solar-goals/>
- 56 Trabish, Herman, "Lancaster, CA Becomes First US City to Require Solar", March 27, 2013. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Lancaster-CA-Becomes-First-US-City-to-Require-Solar>
- 57 Tim Flannery, Tim, and Sahajwalla, Veena, "The Critical Decade: Australia's Future – Solar Energy", Climate Commission, 2013. <http://www.climatecouncil.org.au/uploads/497bcd1f058be45028e3df-9d020ed561.pdf>
- 58 Frank M Bass et al, "DIRECTV - Forecasting the Diffusion of a New Technology Prior to Product Launch", *INTERFACES* 31: 3, Part 2 of 2, May–June 2001 (pp. S82–S93).
- 59 Frank M Bass et al, "DIRECTV - Forecasting the Diffusion of a New Technology Prior to Product Launch", *INTERFACES* 31: 3, Part 2 of 2, May–June 2001 (pp. S82–S93).
- 60 Wikipedia contributors, "Potassium Nitrate", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Potassium_nitrate
- 61 Wikipedia contributors, "Capacity Factor", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Capacity_factor, as of June 20, 2011.
- 62 Maloney, Michael T., "Analysis of Load Factors at Nuclear Power Plants". http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=michael_t_maloney, retrieved June 20, 2011.
- 63 Major Solar Projects in the United States Operating, Under Construction, or Under Development", Solar Energy Industries Association, November 26, 2013.
- 64 Wikipedia contributors, "World Wide Web", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/World_Wide_Web#Web_servers
- 65 Deken, Jean Marie, "The Early World Wide Web at SLAC", Stanford Linear Accelerator Center, May 31, 2006. <http://www.slac.stanford.edu/history/earlyweb/history.shtml>

-
- 66 Lomas, Natasha, "10BN+ Wirelessly Connected Devices Today, 30BN+ In 2020 s 'Internet Of Everything', Says ABI Research", TechCrunch, May 9, 2013. <http://techcrunch.com/2013/05/09/internet-of-everything/>
- 67 "National Transmission Development Plan for the National Electricity Market", Australia Market Operator, December 2013, AEMO Australian Energy Market Operator, ABN 94 072 010 327. http://www.pennenergy.com/content/dam/Pennenergy/online-articles/2013/December/2013_NTNDP.pdf
- 68 68 Wang, Yue, "More People Have Cell Phones Than Toilets, U.N. Study Shows", Time, March 25, 2013. <http://newsfeed.time.com/2013/03/25/more-people-have-cell-phones-than-toilets-u-n-study-shows/>
- 69 Bells, Mary, "The History of Plumbing: Toilets", About.com. http://inventors.about.com/od/pstartinventions/a/Plumbing_3.htm 70 Kenney, Kim, "Cars in the 1920's", Suite 101. <http://suite101.com/article/cars-in-the-1920s-a90169>
- 70 Kenney, Kim, "Cars in the 1920's", Suite 101. <http://suite101.com/article/cars-in-the-1920s-a90169>
- 71 Trabish, Herman, "Sunrun Closes \$630M in Rooftop Solar Funds From JPMorgan, US Bank", Greentech Media, June 26, 2013. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Sunrun-Closes-630-Million-in-Rooftop-Solar-Funding-from-JPMorgan-US-Bank>
- 72 Mims, Christopher et al, "World Changing Ideas: 20 Ways to Build a Cleaner, Healthier, Smarter World", Scientific American, December 2009. <http://www.scientificamerican.com/article/world-changing-ideas/>
- 73 Trabish, Herman, "Sunrun Closes \$630M in Rooftop Solar Funds From JPMorgan, US Bank", Greentech Media, June 26, 2013. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Sunrun-Closes-630-Million-in-Rooftop-Solar-Funding-from-JPMorgan-US-Bank>
- 74 "Vivint Solar Raises \$540 million in Residential Solar", PV Magazine, Oct 21, 2013. http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/vivint-raises-540-million-for-residential-solar_100013085/
- 75 Hoium, Travis, "SolarCity's Growth Binge Continues", The Motley Fool, August 8, 2013. <http://www.fool.com/investing/general/2013/08/08/solarcitys-growth-binge-continues.aspx>
- 76 SolarCity Corporation, Yahoo! Finance. <http://finance.yahoo.com/echarts?s=SCTY+Interactive#symbol=SCTY;range=1y>
- 77 Davidson, Paul, "Prices for rooftop solar systems fall as supply grows", USA Today, January 23, 2009. http://usatoday30.usatoday.com/money/industries/energy/environment/2009-01-12-solar-panels-glu-t_N.htm

-
- 78 Berman, Jillian, "U.S. Median Annual Wage Falls To \$26,364 As Pessimism Reaches 10-Year High", The Huffington Post, January 23, 2012. http://www.huffingtonpost.com/2011/10/20/us-incomes-falling-as-optimism-reaches-10-year-low_n_1022118.html
- 79 Davis, Benjamin et al, "California Solar Cities 2012", Environment California Research & Policy Center, January 24, 2012. <http://www.environmentcalifornia.org/reports/cae/californias-solar-cities-2012>
- 80 Wikipedia contributors, "PACE Financing", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/PACE_Financing
- 81 "What is PACE?", PACENow. <http://pacenow.org/blog/about-pace/>
- 82 "FHFA Statement on Certain Energy Retrofit Loan Programs", Federal Housing Finance Agency, July 6, 2010.
- 83 Quackenbush, Jeff, "Santa Rosa-based Ygrene leads \$650 million green-retrofit effort", North Bay Business Journal, September 23, 2011. <http://www.northbaybusinessjournal.com/40821/santa-rosa-based-ygrene-leads-650-million-green-retrofit-effort/>
- 84 "Plant A Seed For Solar Energy", Indiegogo. <http://www.indiegogo.com/projects/plant-a-seed-for-solar-energy>
- 85 Morris, Craig, "Denmark Surpasses 100 percent Wind Power", Energy Transition, Nov 8, 2013. <http://energytransition.de/2013/11/denmark-surpasses-100-percent-wind-power/>
- 86 Wikipedia contributors, "Wind Power in Denmark", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Denmark
- 87 Wikipedia contributors, "Wind Power in Denmark", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Denmark
- 88 Wikipedia contributors, "Wind Power in Denmark", Wikipedia, the Free Encyclopedia. retrieved 24 July 2013, http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Denmark
- 89 Wikipedia contributors, "File: Wind in Denmark 1977-2011", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wind_in_Denmark_1977_2011_large.png
- 90 Bayar, Tildy, "Dutch Wind Turbine Purchase Sets World Crowdfunding Record", Renewable Energy World, September 24, 2103. <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/09/dutch-wind-turbine-purchase-sets-world-crowdfunding-record>

-
- 91 WindCentrale company website. <https://www.windcentrale.nl/faq/>
- 92 Wikipedia contributors, "Golden Gate Bridge", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Golden_Gate_Bridge#History
- 93 Wikipedia contributors, "Golden Gate Bridge, Highway and Transportation District", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Golden_Gate_Bridge_Highway_and_Transportation_District
- 94 "Bond Measure Passes - Against the Odds?", Golden Gate Bridge, Highway and Transportation District. <http://goldengatebridge.org/research/BondMeasure.php>
- 95 "History of Golden Gate Ferry", Golden Gate Bridge, Highway and Transportation District. <http://goldengateferry.org/researchlibrary/history.php>
- 96 Mosaic Website, "Browse Investments". <https://joinmosaic.com/browse-investments>
- 97 "Key Statistics", Federal Deposit Insurance Corporation. <http://www2.fdic.gov/idasp/index.asp>
- 98 Doom, Justin, and Buhayar, Noah, "Buffett Plans More Solar Bonds After Oversubscribed Deal", Bloomberg, March 1, 2012. <http://www.bloomberg.com/news/2012-02-29/buffett-plans-more-solar-bonds-after-oversubscribed-topaz-deal.html>
- 99 "Daily Treasury Yield Curve Rates", Resource Center, U.S. Department of the Treasury. <http://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=yield>
- 100 NASDAQ Composite (^IXIC), Yahoo! Finance, <http://finance.yahoo.com/>
- 101 Hoff, Ivan, "26 Market Wisdoms from Warren Buffett". <http://stocktwits50.com/2013/09/09/26-market-wisdoms-from-warren-buffett/>
- 102 "SolarCity Announces Pricing of Securitization", SolarCity Press Release, November 13, 2013. <http://investors.solarcity.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=807221>
- 103 Chen, Xilu, and Chen, Weili, "SolarCity LMC Series I LLC (Series 2013-1)", Standard & Poor's, RatingsDirect, November 11, 2013. http://www.standardandpoors.com/spf/upload/Ratings_US/SolarCity_LMC_11_11_13.pdf
- 104 Yoon, Al, "Surge in Asset-Backed Bond Sales", Wall Street Journal, September 10, 2012. <http://online.wsj.com/news/articles/SB10000872396390443921504577643931647213966>
- 105 Hannon Armstrong (HASI) Form 10Q for period ending March 31, 2013, from Yahoo! Finance. <http://yahoo.brand.edgar-online.com/displayfilinginfo.aspx?FilingID=9316256-878-162223&type=sect&dcn=0001193125-13-233593>

-
- 106 Wikipedia contributors, "Real Estate Investment Trust", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Real_estate_investment_trust
- 107 Wikipedia contributors, "Real Estate Investment Trust", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Real_estate_investment_trust
- 108 "Statement of Dan W. Reicher Executive Director Steyer-Taylor Center for Energy Policy & Finance at Stanford University Professor, Stanford Law School Lecturer, Stanford Graduate School of Business to the House Committee on Oversight and Government Reform Subcommittee on Energy Policy, Health Care and Entitlements Hearing on Oversight of the Wind Energy Production Tax Credit", October 2, 2013. <http://oversight.house.gov/wp-content/uploads/2013/10/Reicher.pdf>
- 109 Hannon Armstrong Sustainable Infrastructure Capital Inc (HASI), Morningstar. <http://quotes.morningstar.com/stock/hasi/s?t=HASI>
- 110 Hannon Armstrong (HASI) Completes \$100,000,000 Asset-Backed Securitization of 2.79% Sustainable Yield Bonds", press release, December 23, 2013. <http://www.prnewswire.com/news-releases/hannon-armstrong-hasi-completes-100000000-asset-backed-securitization-of-279-sustainable-yield-bonds-236999811.html>
- 111 "Statement of Dan W. Reicher Executive Director Steyer-Taylor Center for Energy Policy & Finance at Stanford University Professor, Stanford Law School Lecturer, Stanford Graduate School of Business to the House Committee on Oversight and Government Reform Subcommittee on Energy Policy, Health Care and Entitlements Hearing on Oversight of the Wind Energy Production Tax Credit", October 2, 2013. <http://oversight.house.gov/wp-content/uploads/2013/10/Reicher.pdf>
- 112 "Company History", Kinder Morgan. http://www.kindermorgan.com/about_us/kmi_history.cfm
- 113 Wikipedia contributors, "Kinder Morgan", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Kinder_Morgan
- 114 "Rise of the Distorporation", The Economist, Oct 26, 2013. <http://www.economist.com/news/briefing/21588379-mutation-way-companis-are-financed-and-managed-will-change-distribution>
- 115 "The Master Limited Partnerships Parity Act", United States Senator Chris Coons. <http://www.coons.senate.gov/issues/master-limited-partnerships-parity-act>
- 116 Mormann, Felix, and Reicher, Dan, "How to Make Renewable Energy Competitive", New York Times, June 1, 2012. <http://www.nytimes.com/2012/06/02/opinion/how-to-make-renewable-energy-competitive.html>
- 117 "Solar Investment Tax Credit (ITC)", Solar Energy Industries Association. <http://www.seia.org/policy/finance-tax/solar-investment-tax-credit>

-
- 118 Weiss, Daniel, and Germain, Tiffany, "Big Oil, Big Profits, Big Tax Breaks", Center for American Progress, November 5, 2013. <http://www.americanprogress.org/issues/green/news/2013/11/05/78807/big-oil-big-profits-big-tax-breaks/>
- 119 "S.795 - Master Limited Partnerships Parity Act", 113th Congress (2013-2014). <http://beta.congress.gov/bill/113th/senate-bill/795/committees>
- 120 Natter, Ari, "Estimated to Cost \$1.3 Billion Over 10 Years", Bloomberg Daily Tax Report, Nov 19, 2013. <http://www.mw-cleantechcapital.com/files/2013/11/BNA-Tax-Report.pdf>
- 121 "SolarCity Announces Pricing of Securitization", SolarCity press release, November 13, 2013. <http://investors.solarcity.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=807221>
- 122 "About Clean Power Finance". <http://www.cleanpowerfinance.com/about-clean-power-finance/>
- 123 "Solar Investment Tax Credit (ITC)", Solar Energy Industries Association. <http://www.seia.org/policy/finance-tax/solar-investment-tax-credit>
- 124 "Brannon Solar Renewable Energy Contract", City Council Staff Report, City of Palo Alto, November 5, 2012. <http://www.cityofpaloalto.org/civicax/filebank/documents/31752>
- 125 "Brannon Solar Renewable Energy Contract", City Council Staff Report, City of Palo Alto, November 5, 2012. <http://www.cityofpaloalto.org/civicax/filebank/documents/31752>
- 126 "Understand Your Electric Charges", PG&E company website, retrieved July 19, 2013. <http://www.pge.com/myhome/myaccount/charges/>
- 127 "Understand Your Electric Charges", PG&E website retrieved July 19, 2013. <http://www.pge.com/myhome/myaccount/charges/>
- 128 "Clean Energy Australia Report 2012", Clean Energy Council
- 129 Wikipedia contributors, "Demographics of Australia", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Demographics_of_Australia
- 130 <http://quickfacts.census.gov/qfd/states/06000.html>
- 131 Drew, Tim et al, California Solar Initiative, Annual Program Assessment Report, California Public Energy Commission, June 2013. <http://www.cpuc.ca.gov/NR/rdonlyres/7A350E8E-3666-4AA5-98E3-5E9C812D3DE6/0/CASolarInitiativeCSIAAnnualProgAssessmtJune2013FINAL.pdf>

-
- 132 “U.S. Solar Market Grows 76% in 2012”, Solar Energy Industries Association, March 14, 2013. <http://www.seia.org/news/us-solar-market-grows-7>
- 133 Chan, Albert et al, “Australia Competing With Germany On Low Solar PV Prices”, CleanTechnica. <http://cleantechnica.com/2013/04/03/australia-competing-with-germany-on-low-solar-pv-prices/>
- 134 Grimes, John, “Australian PV Market Report”, Australian Solar Council, presentation at Intersolar North America, July 2013.
- 135 Arizona Public Service, APC A.C.C. 5724, Rate Schedule ET-SP January, 2012.
- 136 “How to Lose Half a Trillion Euros”, The Economist, October 10, 2013. <http://www.economist.com/news/briefing/21587782-europes-electricity-providers-face-existential-threat-how-lose-half-trillion-euros>
- 137 “What is Peak Day Pricing?”, Peak Energy Agriculture Rewards by Enernoc, Inc. <http://pearcalifornia.com/what-is-peak-day-pricing>
- 138 “What is Peak Day Pricing?”, Peak Energy Agriculture Rewards by Enernoc, Inc. <http://pearcalifornia.com/what-is-peak-day-pricing>
- 139 “The Benefits of Uniform Clearing Price Auctions for Pricing Electricity – Why Pay-As-Bid Auctions Do not Cost Less”, ISO New England, March 2006. http://www.iso-ne.com/pubs/whtpprs/uniform_clearing_price_auctions.pdf
- 140 “Understanding the Markets - Clearing Price Auctions”, NYISO. http://www.nyiso.com/public/about_nyiso/understanding_the_markets/clearing_price_auctions/index.jsp
- 141 “How to Lose Half a Trillion Euros”, The Economist, October 10, 2013. <http://www.economist.com/news/briefing/21587782-europes-electricity-providers-face-existential-threat-how-lose-half-trillion-euros>
- 142 “Annual Energy Outlook 2013”, U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov/oiaf/aeo/tablebrowser/#release=AEO2013&subject=0-AEO2013&table=8-AEO2013®ion=0-0&cases=ref2013-d102312a>
- 143 “Quarterly Report on European Electricity Markets”, Volume 5, Issue 1: January 2012 – March 2012, European Commission Directory General for Energy.
- 144 “Capital Costs for Transmission and Substations”, Recommendations for Western Electricity Coordinating Council (WECC) Transmission and Expansion Planning, B&V Project No. 176322, October 2012

-
- 145 Silverstein, Alison, "TRANSMISSION 101", NCEP Transmission Technologies Workshop April 20-21, 2011.
- 146 "LIPA Announces Major New Plans for Additional Solar Energy for Long Island", Long Island Power Authority press release, July 12, 2013. <http://www.lipower.org/newscenter/pr/2013/071213-solar.html>
- 147 "Brannon Solar Renewable Energy Contract", City Council Staff Report, City of Palo Alto, November 5, 2012. <http://www.cityofpaloalto.org/civicax/filebank/documents/31752>
- 148 "Solar Means Business – Top U.S. Commercial Solar Users", Solar Energy Industries Association and VoteSolar, Oct 2013.
- 149 "Walmart Announces 10 new solar installations in Maryland", Walmart company press release, June 25, 2013. <http://news.walmart.com/news-archive/2013/06/25/walmart-announces-10-new-solar-installations-in-maryland>
- 150 "IKEA Expanding Rooftop Array on Maryland Distribution Center to 4.9 MW", SolarIndustry.com, November 7, 2013.
- 151 "Walmart Announces 10 new solar installations in Maryland", Walmart company press release, June 25, 2013. <http://news.walmart.com/news-archive/2013/06/25/walmart-announces-10-new-solar-installations-in-maryland>
- 152 "The New Energy Consumer Handbook", Accenture, June 2013. http://nstore.accenture.com/acn_com/PDF/Accenture-New-Energy-Consumer-Handbook-2013.pdf
- 153 Clover, Ian, "VW Builds Car Industry's Largest Solar Installation In Spain", PV Magazine, November 29, 2013. http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/vw-builds-car-industrys-largest-solar-installation-in-spain_100013607/
- 154 "Environmental Responsibility", Apple company website. <http://www.apple.com/environment/renewable-energy/>
- 155 "Prologis Profile – Americas 2Q 2013", company presentation. http://www.prologis.com/docs/Prologis_Profile_Americas_2Q13.pdf
- 156 Sweet, Cassandra, "NRG, Prologis, Embark on Solar Rooftop Project", Wall Street Journal, June 22, 2011. <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424052702304791204576401883873490842>
- 157 "Solar Means Business – Top U.S. Commercial Solar Users", Solar Energy Industries Association and VoteSolar, Oct 2013.
- 158 Wikipedia contributors, "Yoky Matsuoka", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Yoky_Matsuoka

- 159 "Heating and Cooling", US Department of Energy. <http://energy.gov/public-services/homes/heating-cooling>
- 160 Fischer, Barry, "Hot and heavy energy usage: How the demand and price for electricity skyrocketed on a 100° day", oPower.com, Sept 5, 2012. <http://blog.opower.com/2012/09/hot-and-heavy-energy-usage-how-the-demand-and-price-for-electricity-skyrocketed-on-a-100-day/>
- 161 "Texas Heat Wave, August 2011: Nature and Effects of an Electricity Supply Shortage", U.S. Energy Information Agency. <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=3010>
- 162 "Hot and heavy energy usage: How the demand and price for electricity skyrocketed on a 100° day", oPower.com, Sept 5, 2012. <http://blog.opower.com/2012/09/hot-and-heavy-energy-usage-how-the-demand-and-price-for-electricity-skyrocketed-on-a-100-day/>
- 163 "National Overview - June 2012", National Climatic Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/national/2012/6>
- 164 "What You May Not Know About Galaxy S4 Innovative Technology", April 10, 2013, Samsung company website. <http://global.samsungtomorrow.com/?p=23610>
- 165 Upbin, Bruce, "Monsanto Buys Climate Corp for \$930 million", Forbes.com, October 2, 2013. <http://www.forbes.com/sites/bruceupbin/2013/10/02/monsanto-buys-climate-corp-for-930-million/>
- 166 Rothstein, Edward, "An Emphasis on Newton's Laws (and a Little Lawlessness) - The New Exploratorium Opens in San Francisco", New York Times, April 16th, 2013. <http://www.nytimes.com/2013/04/17/arts/design/the-new-exploratorium-opens-in-san-francisco.html>
- 167 Woolsey, Christina, "Sustain - The Museum as Exhibit", San Francisco: Exploratorium, November 2012.
- 168 Woolsey, Christina, "Sustain - The Museum as Exhibit", San Francisco: Exploratorium, November 2012.
- 169 Kind, Peter, "Disruptive Challenges: Financial Implications and Strategic Responses to a Changing Retail Electric Business", Edison Electric Institute, January 2013. <http://www.eei.org/ourissues/finance/documents/disruptivechallenges.pdf>
- 170 "How to Lose Half a Trillion Euros", The Economist, October 10, 2013. <http://www.economist.com/news/briefing/21587782-europes-electricity-providers-face-existential-threat-how-lose-half-trillion-euros>

-
- 171 Baker, David, "Energy Storage Firm Tries No Cash Down Approach", San Francisco Chronicle, Oct 24, 2013. <http://www.sfgate.com/business/article/Energy-storage-firm-tries-no-cash-down-approach-4922364.php>
- 172 Wikipedia contributors, "SunEdison, LLC", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/SunEdison_LLC
- 173 "How much electricity does an American home use?", U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=97&t=3>
- 174 Baldwin Auck, Sara, "Utah Rising Storm for Net Metering", Solar Today, February 13, 2014. <http://solartoday.org/2014/02/utah-rising-storm-for-net-metering>
- 175 Bellis, Mary, "History of the Digital Camera", About.com. <http://inventors.about.com/library/inventors/bldigitalcamera.htm>
- 176 "NASA Hosts News Conference About 10 Years of Roving on Mars", Jet Propulsion Lab, California Institute of Technology, January 21, 2014. <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/newsroom/pressreleases/20140121a.html>
- 177 Changjan, Kenneth, "Mars Rover Marks an Unexpected Anniversary With a Mysterious Discovery", New York Times, January 23, 2014. <http://www.nytimes.com/2014/01/24/science/space/mars-rover-marks-an-unexpected-anniversary-with-a-mysterious-discovery.html>
- 178 "What Is the Distance Between Earth and Mars?", Space.com, February 29, 2014. <http://www.space.com/14729-spacekids-distance-earth-mars.html> 179 "Mars Artwork", Jet Propulsion Lab, California Institute of Technology. <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/artwork/rover3browse.html>
- 179 "Mars Artwork", Jet Propulsion Lab, California Institute of Technology. <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/artwork/rover3browse.html>
- 180 "The perils of extreme democracy", The Economist, April 20, 2011. <http://www.economist.com/node/18586520>
- 181 "California Proposition 16, Supermajority Vote Required to Create a Community Choice Aggregator (June 2010)", Ballotpedia. [http://ballotpedia.org/California_Proposition_16_Supermajority_Vote_Required_to_Create_a_Community_Choice_Aggregator_\(June_2010\)](http://ballotpedia.org/California_Proposition_16_Supermajority_Vote_Required_to_Create_a_Community_Choice_Aggregator_(June_2010))
- 182 Geesman, John, PG&E Ballot Initiative Factsheet, "Proposition 16: The Trojan Horse in California's June 8, 2010 Election". <http://pgandeballotinitiativefactsheet.blogspot.com/>

-
- 183 Fahn, Larry, "Marin Voice: Prop. 16 is PG&E's power play", Marin Independent Journal, June 1, 2010. http://www.marinij.com/ci_15201680
- 184 "California Proposition 16, Supermajority Vote Required to Create a Community Choice Aggregator (June 2010)", Ballotpedia. [http://ballotpedia.org/California_Proposition_16_Supermajority_Vote_Required_to_Create_a_Community_Choice_Aggregator_\(June_2010\)](http://ballotpedia.org/California_Proposition_16_Supermajority_Vote_Required_to_Create_a_Community_Choice_Aggregator_(June_2010))
- 185 Pinnacle West Capital Corp Executive Compensation, Morningstar.com. <http://insiders.morningstar.com/trading/executive-compensation.action?t=PNW®ion=USA&culture=en-US>
- 186 "Mission", Arizona Corporation Commission. <http://www.azcc.gov/divisions/Utilities>
- 187 Baker, Brandon, "Arizona Imposes Unprecedented Fee on Solar Energy Users", EcoWatch, November 19, 2013. <http://ecowatch.com/2013/11/19/arizona-imposes-unprecedented-fee-on-solar-energy-users>
- 188 MacKenzie, Angus, "2013 Motor Trend Car of the Year: Tesla Model S", Motor Trend, January 2013. http://www.motortrend.com/oftheyear/car/1301_2013_motor_trend_car_of_the_year_tesla_model_s/viewall.html
- 189 MacKenzie, Angus, "2013 Motor Trend Car of the Year: Tesla Model S", Motor Trend, January 2013. http://www.motortrend.com/oftheyear/car/1301_2013_motor_trend_car_of_the_year_tesla_model_s/viewall.html
- 190 Oshman, Alan, "Elon Musk on Tesla Merger Prospects: Apple Has Got a Lot of Cash", Bloomberg, May 9, 2013. <http://go.bloomberg.com/tech-deals/2013-05-09-elon-musk-on-tesla-merger-prospects-apple-has-a-lot-of-cash>
- 191 Voelcker, John, "Does Tesla Already Outsell Audi, BMW, Lexus & Mercedes-Benz?", Green Car Reports, April 17, 2013. http://www.greencarreports.com/news/1083585_does-tesla-already-outsell-audi-bmw-lexus-mercedes-benz
- 192 Wood, Column, "Global Vehicle Sales Hit Record 82 Million Units in 2012", AutoGuide.com, Mar 15, 2013. <http://www.autoguide.com/auto-news/2013/03/global-vehicle-sales-hit-record-82-million-units-in-2012.html>
- 193 Ramsey, Mike, "Tesla's Stock is Outrunning Its Superfast Electric Car", Wall Street Journal, August 7, 2013. <http://online.wsj.com/article/SB10001424127887323420604578652180360274840.html>
- 194 Ramsey, Mike, "Tesla's Stock is Outrunning Its Superfast Electric Car", Wall Street Journal, August 7, 2013. <http://online.wsj.com/article/SB10001424127887323420604578652180360274840.html>

-
- 195 "Tesla Model S Achieves Best Safer Rating of Any Car Ever Tested", August 19, 2013, Tesla Motors. <http://www.teslamotors.com/about/press/releases/tesla-model-s-achieves-best-safety-rating-any-car-ever-tested>
- 196 Valdes-Dapena, Peter, "Tesla Model S Gets Consumer Reports Recommendation", CNN Money, Oct 28, 2013. <http://money.cnn.com/2013/10/28/autos/tesla-model-s-consumer-reports-recommended/>
- 197 Smith, Aaron, "GM names Mary Barra as CEO - first woman to run major automaker", CNN Money, December 10, 2013. <http://money.cnn.com/2013/12/10/news/companies/gm-ceo-mary-barra/>
- 198 "Fuel Source: Where the Energy Goes", Energy Requirements for Combined City/Highway Driving, U.S. Department of Energy. <http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>
- 199 Wikipedia contributors, "Engine Efficiency", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Engine_efficiency
- 200 Wikipedia contributors, "Energy Conversion Efficiency", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_conversion_efficiency
- 201 "Using Energy Efficiently", Tesla Motors. <http://www.teslamotors.com/goelectric/efficiency>
- 202 "What That Car Really Costs to Own", Consumer Reports, August 2012. <http://www.consumerreports.org/cro/2012/12/what-that-car-really-costs-to-own/index.htm>
- 203 "Undergraduate Costs 2013-2014", Florida State University. <http://admissions.fsu.edu/freshman/finances/costs.cfm>
- 204 "360 Degree Perspective of the North American Automotive Aftermarket", Frost & Sullivan, February 2011. <http://www.slideshare.net/soaringvjr/north-american-auto-aftermarket-frost-0211>
- 205 "360 Degree Perspective of the North American Automotive Aftermarket", Frost & Sullivan, February 2011. <http://www.slideshare.net/soaringvjr/north-american-auto-aftermarket-frost-0211>
- 206 "360 Degree Perspective of the North American Automotive Aftermarket", Frost & Sullivan, February 2011. <http://www.slideshare.net/soaringvjr/north-american-auto-aftermarket-frost-0211>
- 207 Wikipedia contributors, "Wireless Power", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_power
- 208 Conductix-Wampfler. <http://www.conductix.us/en/markets/e-mobility>
- 209 Conductix-Wampfler. <http://www.conductix.us/en/markets/e-mobility>

210 Kharif, Olga, and Higgins, Tim, "GM to offer wireless charging for smartphones in some 2014 cars", Detroit Free Press, August 19, 2013. <http://www.freep.com/article/20130819/BUSINESS0101/308190112/General-Motors-wireless-charging>

211 "Model X", Tesla Motors. <http://www.teslamotors.com/modelx> 212 "Commercial Version of the MIT Media Lab CityCar Unveiled at European Union Commission Headquarters", MIT Media Lab, <http://www.media.mit.edu/news/citycar>

212 "Commercial Version of the MIT Media Lab CityCar Unveiled at European Union Commission Headquarters", MIT Media Lab, <http://www.media.mit.edu/news/citycar>

213 Dan Myggen's presentation at the Silicon Valley "Driving Charged and Connected" conference in Palo Alto, June 2013. <http://svlg.org/policy-areas/transportation/charged-event-2013/silicon-valley-driving-charged-and-connected-agenda>

214 Kumparak, Greg, and Etherington, Darrell, "Live From Apple's iPhone 5S Announcement", TechCrunch, Sept 10, 2013. <http://techcrunch.com/2013/09/10/live-blog-from-apples-iphone-5s-announcement/>

215 U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics. http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/html/table_01_32.html

216 "How Big Box Stores like Wal-Mart Affect the Environment and Communities", Sierra Club. http://www.sierraclub.org/sprawl/reports/big_box.asp

217 Langton, Adam, and Crisostomo, Noel, "Vehicle - Grid Integration -A Vision for Zero-Emission Transportation Interconnected throughout California's Electricity System", Emerging Procurement Strategies Section, Energy Division, California Public Utilities Commission, R. 13-11-XXX, October 2013.

218 "What Are P2P Communications", Skype. <https://support.skype.com/en/faq/FA10983/what-are-p2p-communications>

219 Langton, Adam, and Crisostomo, Noel, "Vehicle - Grid Integration -A Vision for Zero-Emission Transportation Interconnected throughout California's Electricity System", Emerging Procurement Strategies Section, Energy Division, California Public Utilities Commission, R. 13-11-XXX, October 2013.

220 Herron, David, "GM: Next Generation Volt Will Be \$10,000 Cheaper to Build", PlugInCars.com, May 1, 2013. <http://www.plugincars.com/next-generation-volt-will-be-10k-cheaper-127121.html>

221 Duffer, Robert, "Tesla owner completes first coast-to-coast trip in electric vehicle via supercharging network", Chicago Tribune, January 27, 2014. http://articles.chicagotribune.com/2014-01-27/classified/chi-tesla-first-coast-to-coast-electric-vehicle_1_tesla-ceo-elon-musk-tesla-model-s-electric-vehicle

-
- 222 Hull, Dana, "Coast to coast in a Tesla Model S, using only free Superchargers", San Jose Mercury News, January 28, 2014. http://www.mercurynews.com/business/ci_25010333/kentucky-man-drives-coast-coast-his-tesla-model
- 223 "Supercharger", Tesla Motors. <http://www.teslamotors.com/supercharger>
- 224 "What That Car Really Costs to Own", Consumer Reports, August 2012. <http://www.consumerreports.org/cro/2012/12/what-that-car-really-costs-to-own/index.htm>
- 225 "Using analytics to turbocharge performance in automotive marketing and incentive design", Accenture, Report ACC10-2623 / 11-2495, 2010. http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/PDF/Accenture_Automotive_Sales_Analytics.pdf
- 226 "Model S Features & Specs", Tesla Motors. <http://www.teslamotors.com/models/features#/battery>
- 227 Healey, James R., "Report: Average price of new car hits record in August", USA Today, September 5, 2013. <http://www.usatoday.com/story/money/cars/2013/09/04/record-price-new-car-august/2761341/>
- 228 "General Motors – Key Ratios", Morningstar.com. <http://financials.morningstar.com/ratios/r.html?t=GM>
- 229 "Bayerische Motoren Werke AG – Key Ratios", Morningstar.com. <http://financials.morningstar.com/ratios/r.html?t=XFRA:BMW>
- 230 Gordon-Bloomfield, Nikki, "U.S. Sec. Of Energy: Cheaper Batteries Mean More Electric Cars", Green Car Reports, January 11, 2012. http://www.greencarreports.com/news/1071597_u-s-sec-of-energy-cheaper-batteries-mean-more-electric-cars
- 231 Meggison, Andrew, "The Changing Cost of Electric Cars", Gas2.org. <http://gas2.org/2013/06/13/the-changing-price-of-electric-cars/>
- 232 Tesla Gigafactory presentation. http://www.teslamotors.com/sites/default/files/blog_attachments/gigafactory.pdf
- 233 "Panasonic, Tesla to set up auto battery plant in US", Nikkei Asian Review, February 26, 2014. <http://asia.nikkei.com/Business/Deals/Panasonic-Tesla-to-set-up-auto-battery-plant-in-US>
- 234 Vance, Ashlee, "Tesla's Industrial-Grade Solar Power Storage System", Bloomberg BusinessWeek, December 6, 2013. <http://www.businessweek.com/articles/2013-12-06/teslas-solar-power-storage-unit>

-
- 235 Galveset al, "Tesla Motors: Only Just Begun, Upgrading to Buy", Deutsche Bank Markets Research, July 26, 2013.
- 236 "Liquid Metal Batteries", Group Sadoway, Massachusetts Institute of Technology. <http://sadoway.mit.edu/research/liquid-metal-batteries>
- 237 LaMonica, Martin, "Ambri's Better Battery", MIT Technology Review, February 18, 2013. <http://www.technologyreview.com/featuredstory/511081/ambri-better-grid-battery/>
- 238 Yi Cui, "Energy Seminar", Stanford Precourt Institute for Energy, February 3, 2013. <http://www.youtube.com/watch?v=OZ7cEWrx9U4>
- 239 "Model S – Order", Tesla Motors. <http://www.teslamotors.com/models/design>
- 240 Galves, Danet al, "Tesla Motors: Only Just Begun, Upgrading to Buy", Deutsche Bank Markets Research, July 26, 2013
- 241 "SUV Rankings – Affordable Midsize SUVs", US News & World Report. <http://usnews.rankingsandreviews.com/cars-trucks/rankings/Affordable-Midsize-SUVs/>
- 242 Undercoffer, David, "Tesla Motors plans to debut cheaper car in early 2015", Los Angeles Times, December 15, 2013. <http://articles.latimes.com/2013/dec/15/autos/la-fi-hy-autos-tesla-model-e-debut-2015-20131213>
- 243 Cameron, Kevin, "Questions Linger on Battery Prices in Electric Cars", New York Times, October 23, 2012. <http://www.nytimes.com/2012/10/24/business/energy-environment/questions-linger-on-battery-prices-in-electric-car-industry.html>
- 244 Hensley, Russelet al, "Battery Technology Charges Ahead", McKinsey Quarterly, July 2012.
- 245 "Tesla Motors", MIT Technology Review, Vol 117, No 2, March/April, 2014.
- 246 Healey, James R., "Report: Average price of new car hits record in August", USA Today, September 5, 2013. <http://www.usatoday.com/story/money/cars/2013/09/04/record-price-new-car-august/2761341/>
- 247 "Zipcar at a Glance", Company Overview, Fall 2012.
- 248 Clothier, Mark, "Zipcar Soars After Profit Topped Analysts' Estimates", Bloomberg, Nov 9, 2012. <http://www.bloomberg.com/news/2012-11-09/zipcar-soars-after-profit-topped-analysts-estimates.html>

-
- 249 Duerson, Meena Hart, "Airbnb founder wants you to open your doors to strangers — and let them sleep over", Today, March 29, 2013. <http://www.today.com/news/airbnb-founder-wants-you-open-your-doors-strangers-let-them-1C9138916>
- 250 Airbnb.com company website. Retrieved November 12, 2103. <https://www.airbnb.com/about/about-us>
- 251 CouchSurfing.com company website. Retrieved July 30, 2103. <http://blog.couchsurfing.com/>
- 252 Panzarino, Matthew, "Leaked Uber Numbers, Which We've Confirmed, Point To Over \$1B Gross, \$213M Revenue", TechCrunch, December 4, 2013. <http://techcrunch.com/2013/12/04/leaked-uber-numbers-which-weve-confirmed-point-to-over-1b-gross-revenue-213m-revenue/>
- 253 Swisher, Kara, "Uber Filing in Delaware Shows TPG Investment at \$3.5 Billion Valuation; Google Ventures Also In". AllThingsD, August 22, 2013. <http://allthingsd.com/20130822/uber-filing-in-delaware-shows-tpg-investment-at-3-5-billion-valuation-google-ventures-also-in/>
- 254 Sousanis, John, "World Vehicle Population Tops 1 Billion Units", WardsAuto, August 15, 2011. http://wardsauto.com/ar/world_vehicle_population_110815
- 255 "Transport Outlook 2011 - Meeting the needs of 9 Billion People", International Transport Forum. <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/11Outlook.pdf>
- 256 Wikimedia Commons, "Google Lexus RX 450h Self-Driving Car". http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Google%27s_Lexus_RX_450h_Self-Driving_Car.jpg
- 257 Silberg, Gary, and Wallace, Richard, "Self-Driving Cars: The Next Revolution", KPMG.
- 258 Wikipedia contributors, "United States Military Casualties of War", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_military_casualties_of_war
- 259 Motor Vehicle Traffic Fatalities & Fatality Rate: 1899-2003 (Based on Historical NHTSA and FHWA Data", Advocates for Highway and Auto Safety. <http://www.saferoads.org/federal/2004/TrafficFatalities1899-2003.pdf>
- 260 "Global Status Report on Road Safety 2013 – Time for Action", World Health Organization. http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/report/en/
- 261 "Global Status Report on Road Safety - Time for Action", World Health Organization.
- 262 "Global Status Report on Road Safety 2013 – Time for Action", World Health Organization.

-
- 263 Mullainathan, Sendil, "Get Some Sleep, and Wake Up the G.D.P.", *The New York Times*, February 2, 2014. <http://www.nytimes.com/2014/02/02/business/get-some-sleep-and-wake-up-the-gdp.html>
- 264 Gross, Bill, "Google's Self Driving Car Gathers Nearly 1 GB/Sec", *LinkedIn Today*, May 2, 2013. <http://www.linkedin.com/today/post/article/20130502024505-9947747-google-s-self-driving-car-gathers-nearly-1-gb-per-second>
- 265 Rodrigue, Jean-Paul, "The Geography of Transport Systems", third edition, New York: Routledge, 2013. <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch6en/conc6en/ch6c1en.html>
- 266 Litman, Todd, "Smart Congestion Relief - Comprehensive Evaluation Of Traffic Congestion Costs and Congestion Reduction Strategies", *Victoria Transport Policy Institute*, January 29, 2014.
- 267 Shladover, Steven E., "Highway Capacity Increases From Automated Driving", California PATH Program, 25 July 2013 presentation. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2012/Automation/presentations/Shladover2.pdf>
- 268 Shladover, Steven E., "Highway Capacity Increases From Automated Driving", California PATH Program, 25 July 2013 presentation. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2012/Automation/presentations/Shladover2.pdf>
- 269 Ackerman, Evan, "Study: Intelligent Cars Could Boost Highway Capacity by 273%", *IEEE Spectrum*, Sept 4, 2012. <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/intelligent-cars-could-boost-highway-capacity-by-273>
- 270 Schrank, David et al, "TTI's 2012 URBAN MOBILITY REPORT", *Texas A&M Transportation Institute*, December 2012. <http://mobility.tamu.edu>
- 271 Silberg, Gary, and Wallace, Richard, "Self-Driving Cars: The Next Revolution", *KPMG*
- 272 Jaffe, Eric, "Has the Rise of Online Shopping Made Traffic Worse?", *Atlantic Cities*, August 2, 2013. <http://www.theatlanticcities.com/commute/2013/08/has-rise-online-shopping-made-traffic-worse/6409/>
- 273 Jaffe, Eric, "Has the Rise of Online Shopping Made Traffic Worse?", *Atlantic Cities*, August 2, 2013. <http://www.theatlanticcities.com/commute/2013/08/has-rise-online-shopping-made-traffic-worse/6409/>
- 274 "Road Frustration Index", *Senseable City Lab*. <http://storify.com/SenseableCity/road-frustration-index>
- 275 Mitchell, William, "Personal Mobility". <http://h20.media.mit.edu/pdfs/wjm2007-0509.pdf>

-
- 276 Silberg, Gary, and Wallace, Richard, "Self-Driving Cars: The Next Revolution", KPMG.
- 277 Ayres, Tom, "How Self-Driving Cars Could Turn Our Roads Green", EnterpriseTech, May 28, 2013. http://www.digitalmanufacturingreport.com/dmr/2013-05-28/how_self-driving_cars_could_turn_our_roads_green.html
- 278 "Your Car Costs – How Much Are you really Paying to Drive", AAA, 2012. <http://newsroom.aaa.com/wp-content/uploads/2012/04/YourDrivingCosts2012.pdf>
- 279 Berman, Jillian, "U.S. Median Annual Wage Falls To \$26,364 As Pessimism Reaches 10-Year High", The Huffington Post, January 23, 2012. http://www.huffingtonpost.com/2011/10/20/us-incomes-falling-as-optimism-reaches-10-year-low_n_1022118.html
- 280 "Global Report on Road Safety - Time for Action", World Health Organization.
- 281 Silberg, Gary, and Wallace, Richard, "Self-Driving Cars: The Next Revolution", KPMG.
- 282 Litman, Todd, "Smart Congestion Relief - Comprehensive Evaluation Of Traffic Congestion Costs and Congestion Reduction Strategies", Victoria Transport Policy Institute, January 29, 2014.
- 283 Foy, Henry, and Bryant, Chris, "Nissan Promises Self-Driving Cars by 2020", Financial Times, August 27, 2013. <http://www.ft.com/cms/s/0/b8fad15e-0f3c-11e3-ae66-00144feabdc0.html>
- 284 Nissan Newsroom, "Nissan Announces Self-Driving Car by 2020", August 27, 2013. <http://www.youtube.com/watch?v=NWd2Eoxfcvw>
- 285 "Automotive Industry – Global Data", Cisco Customer Experience Research, Cisco Systems, May 2013.
- 286 "Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles", National Highway Traffic Safety Administration.
- 287 "2012 Audi Driver Assistance Systems", Audi. <http://audiusanews.com/imagegallery/view/215/47/2012-audi-a6-driver-assistance-systems>
- 288 Mercedes Benz BAS Plus with Cross Traffic Assist. http://techcenter.mercedes-benz.com/en/bas_plus_cross_traffic_assist/detail.html
- 289 <http://www.consumerreports.org/cro/news/2013/06/bmw-traffic-jam-assistant-puts-self-driving-car-closer-than-you-think/index.htm>
- 290 Sladover, Steven E., "Why Automated Vehicles Need to Be Connected Vehicles", University of California PATH Program, IEEE Vehicular Networking Conference December 17, 2013.

-
- 291 “BMW Traffic Jam Assistant puts self-driving car closer than you think”, Consumer Reports News: June 11, 2013. <http://content.usatoday.com/communities/driveon/post/2012/06/google-discloses-costs-of-its-driverless-car-tests/1>
- 292 Wikipedia contributors, “Lidar”, Wikipedia, the Free Encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>
- 293 Trinder, John, “Current Trends in Photogrammetry and Imaging including Lidar”, University of New South Wales.
- 294 Bilger, Burkhard, “Auto Correct – Has the Self-Driving Car At Last Arrived?”, The New Yorker, Nov 25, 2013. http://www.newyorker.com/reporting/2013/11/25/131125fa_fact_bilger
- 295 “Fujitsu Semiconductor Develops World’s First 360° Wraparound View System with Approaching Object Detection”, company press release, May 16, 2013. <http://jp.fujitsu.com/group/fsl/en/release/20130516.html>
- 296 “Fujitsu Semiconductor Develops World’s First 360° Wraparound View System with Approaching Object Detection”, company press release, May 16, 2013. <http://jp.fujitsu.com/group/fsl/en/release/20130516.html>
- 297 “Ford Developer Program”, Ford Motors. <https://developer.ford.com/>
- 298 Wikipedia contributors, “History of the iPhone”, Wikipedia, Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_iPhone
- 299 Wikipedia contributors, “Android Version History”, Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Android_version_history
- 300 Bradley, Tony, “Android Dominates Market Share, But Apple Makes All The Money”, November 15, 2013. <http://www.forbes.com/sites/tonybradley/2013/11/15/android-dominates-market-share-but-apple-makes-all-the-money/>
- 301 Carr, Austin, “J.Crew CEO, Apple Board Member Mickey Drexler Reveals Steve Jobs’ iCar Dream, Confirms “Living Room” Plans”, FastCompany, May 16, 2012. <http://www.fastcompany.com/1837636/j-crew-ceo-apple-board-member-mickey-drexler-reveals-steve-jobs-icar-dream-confirms-living-r>
- 302 Clothier, Mark, “Zipcar Soars After Profit Topped Analysts’ Estimates”, Bloomberg, November 9, 2012. <http://www.bloomberg.com/news/2012-11-09/zipcar-soars-after-profit-topped-analysts-estimates.html>

-
- 303 Wood, Column, "Global Vehicle Sales Hit Record 82 Million Units in 2012", AutoGuide.com, March 15, 2013. <http://www.autoguide.com/auto-news/2013/03/global-vehicle-sales-hit-record-82-million-units-in-2012.html>
- 304 Upbin, Bruce, "Monsanto Buys Climate Corp for \$930 million", Forbes.com, October 2, 2013.
- 305 Gross, Bill, "Google's Self Driving Car Gathers Nearly 1 GB/Sec", LinkedIn Today, May 2, 2013.
- 306 Wikipedia contributors, "Chernobyl Disaster", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster
- 307 Gorbachev, Michael, "Turning Point at Chernobyl", Project Syndicate, April 14, 2006. <http://www.project-syndicate.org/commentary/gorbachev3/English>
- 308 Morin, Hervé, "L'effet de Tchernobyl en France a été jusqu'à mille fois sous-évalué", Le Monde, April 24, 2006. http://www.lemonde.fr/planete/article/2006/04/24/l-effet-de-tchernobyl-en-france-a-ete-jusqu-a-mille-fois-sous-evalue_764692_3244.html
- 309 Morin, Hervé, "L'effet de Tchernobyl en France a été jusqu'à mille fois sous-évalué", Le Monde, April 24, 2006.
- 310 Cherry, Steven, "Crowdsourcing Radiation Monitoring", IEEE Spectrum, November 17, 2011. <http://spectrum.ieee.org/podcast/geek-life/hands-on/crowdsourcing-radiation-monitoring>
- 311 "The bGeigie Nano Geiger Counter Kit", International Medcom. <http://medcom.com/radiation-monitors/geiger-counters/bgeigie-kit/>
- 312 "The bGeigie Nano Geiger Counter Kit", International Medcom. <http://medcom.com/radiation-monitors/geiger-counters/bgeigie-kit/>
- 313 Wikipedia contributors, "Regulatory Capture", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Regulatory_capture
- 314 McKenna, John, "Sellafield clean-up costs out of control", Process Engineering, Feb 3, 2013. <http://processengineering.theengineer.co.uk/sellafield-clean-up-costs-out-of-control/1015427.article>
- 315 Mulkern, Anne C., "Nuclear Energy: Who'll get stuck with San Onofre's \$3B tab?", E&E News, June 10, 2013. <http://www.eenews.net/stories/1059982573>
- 316 Martin, James, "Solar PV Price Index - July 2013", Solar Choice, July 4, 2013.
- 317 Wikipedia contributors, "Energy in the United Kingdom", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_in_the_United_Kingdom

-
- 318 Jowit, Juliette, "Nuclear power: ministers offer reactor deal until 2050", The Guardian, February, 18, 2013. <http://www.theguardian.com/environment/2013/feb/18/nuclear-power-ministers-reactor>
- 319 Jowit, Juliette, "Nuclear power: ministers offer reactor deal until 2050", The Guardian, February, 18, 2013. <http://www.theguardian.com/environment/2013/feb/18/nuclear-power-ministers-reactor>
- 320 Meikle Capital, Technology Equilibrium Fund, LP, July 8, 2013.
- 321 <http://en.wikipedia.org/wiki/Sellafield>
- 322 "Sellafield clean-up costs out of control", Process Engineering, Feb 3, 2013. <http://processengineering.theengineer.co.uk/sellafield-clean-up-costs-out-of-control/1015427>.
- 323 Wikipedia contributors, "Vogtle Electric Generating Plant", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Vogtle_Electric_Generating_Plant
- 324 "Learning Curve Calculator", Federation of American Scientists. <http://www.fas.org/news/reference/calc/learn.htm>
- 325 "Learning Curve Calculator", Federation of American Scientists. <http://www.fas.org/news/reference/calc/learn.htm>
- 326 Koomey, Jonathan, and Holtman, Nathan, "A reactor-level analysis of busbar costs for US nuclear plants, 1970–2005", Energy Policy, 2007
- 327 Harding, Jim, "Economics of New Nuclear Power and Proliferation Risks in a Carbon-Constrained World", Nonproliferation Policy Education Center, 2007.
- 328 "Nuclear Safety and Nuclear Economics", Mark Cooper, Senior Fellow for Economic Analysis Institute for Energy and the Environment Vermont Law School, Symposium on the Future of Nuclear Power University of Pittsburgh March 27-28, 2012.
- 329 "Nuclear Safety and Nuclear Economics", Mark Cooper, Senior Fellow for Economic Analysis Institute for Energy and the Environment Vermont Law School, Symposium on the Future of Nuclear Power University of Pittsburgh March 27-28, 2012.
- 330 "Myths and Facts about Economics and Financing", Nuclear Energy Institute. <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Backgrounders/Fact-Sheets/Myths-Facts-About-Economics-Financing>.
- 331 Wikipedia contributors, "Energy Policy Act of 2005", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_Policy_Act_of_2005

-
- 332 Sturgis, Sue, "Power Politics: Big Nuclear Money Grab", Institute for Southern Studies, March 2, 2009. <http://www.southernstudies.org/2009/03/power-politics-big-nuclears-money-grab.html>
- 333 "Obama Administration Announces Loan Guarantees to Construct New Nuclear Power Reactors in Georgia", White House press release, Feb 16, 2010. <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/obama-administration-announces-loan-guarantees-construct-new-nuclear-power-reactors>
- 334 "DOE Loan Guarantee Program: Vogtle Reactors 3&4", Taxpayers For Common Sense, February 19, 2014. <http://www.taxpayer.net/library/article/doe-loan-guarantee-program-vogtle-reactors-34>
- 335 Smith, Rebecca, "New Wave of Nuclear Plants Faces High Costs," The Wall Street Journal, May 12, 2008. http://online.wsj.com/article/SB121055252677483933.html?mod=hpp_us_whats_news#articleTabs%3Darticle
- 336 Gore, Al, *Our Choice*, Bloomsbury, 2009, p. 157.
- 337 Lovins, Amory, Sheikh, Imram, and Markevich, Alex. "Nuclear Power : Climate Fix or Folly", 2009.
- 338 Smith, Rebecca, "New Wave of Nuclear Plants Faces High Costs," The Wall Street Journal, May 12, 2008.
- 339 Wikipedia contributors, "Washington Public Power Supply System", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Washington_Public_Power_Supply_System
- 340 Wikipedia contributors, "Columbia Generating Station", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Columbia_Generating_Station
- 341 Lomax, Simon, and Snyder, Jim, "Obama would Triple Guarantees for Building Nuclear Reactors", Bloomberg, Feb 14, 2011. <http://www.bloomberg.com/news/2011-02-14/obama-would-triple-guarantees-for-building-nuclear-reactors.html>
- 342 Mark A. Ruffalo, Marco Krapels and Mark Z. Jacobson: "Power the World with Wind, Water and Sunlight", June 20, 2012. http://www.youtube.com/watch?v=N_sLt5gNAQs
- 343 Mark A. Ruffalo, Marco Krapels and Mark Z. Jacobson: "Power the World with Wind, Water and Sunlight", June 20, 2012. http://www.youtube.com/watch?v=N_sLt5gNAQs
- 344 Sieg, Linda, and Takenaka, Kiyoshi, "Japan secrecy act stirs fears about press freedom, right to know", Reuters, October 24, 2013. <http://www.reuters.com/article/2013/10/24/us-japan-secrecy-idUSBRE99N1EC20131024>
- 345 "Nuclear Power in the World Today", World Nuclear Association, April, 2014. <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Power-in-the-World-Today/>

-
- 346 Wikipedia contributors, "Nuclear Power in France", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_in_France
- 347 Wikipedia contributors, "Nuclear Power in Japan", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_in_Japan
- 348 Wikipedia contributors, "Nuclear Power in the United States", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_in_the_United_States
- 349 Günther, Benjamin et al, "Calculating a risk-appropriate insurance premium to cover third-party liability risks that result from operation of nuclear power plants", German Renewable Energy Federation (BEE), April 1, 2011. <http://www.laka.org/docu/boeken/pdf/6-01-0-30-34.pdf>
- 350 "Brannon Solar Renewable Energy Contract", City Council Staff Report, City of Palo Alto, November 5, 2012.
- 351 Wikipedia contributors, "List of Countries by GDP", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_GDP_%28nominal%29
- 352 "Russia GDP", Trading Economics. <http://www.tradingeconomics.com/russia/gdp>
- 353 Gorbachev, Michael, "Turning Point at Chernobyl", Project Syndicate, April 14, 2006. <http://www.project-syndicate.org/commentary/gorbachev3/English>
- 354 Kennedy, Duncan, "Italy nuclear: Berlusconi accepts referendum blow", BBC News, June 14, 2011. <http://www.bbc.co.uk/news/world-europe-13741105>
- 355 "Europe to Decommission Majority of Nuclear Power Stations by 2030 While US Bucks Global Trend", GlobaData, June 6, 2012. <http://energy.globaldata.com/media-center/press-releases/power-and-resources/europe-to-decommission-majority-of-nuclear-power-stations-by-2030-while-us-bucks-global-trend>
- 356 "60,000 protest Japan's plan to restart nuclear power plants", UPI, June 2, 2013. http://www.upi.com/Top_News/World-News/2013/06/02/60000-protest-Japans-plan-to-restart-nuclear-power-plants/UPI-34961370197818
- 357 Romm, Joe, "NRG to abandon two new South Texas nuclear plants, write down \$481 million investment", ClimateProgress, April 26, 2011.
- 358 Douglass, Elizabeth, "First U.S. Nuclear Power Closures in 15 Years Signal Wider Problems for Industry", Sept, 24 2013. <http://insideclimatenews.org/news/20130924/first-us-nuclear-power-closures-15-years-signal-wider-problems-industry>

-
- 359 Eggers, Dan et al, "Nuclear... The Middle Age Dilemma? - Facing Declining Performance, Higher Costs, Inevitable Mortality", Credit Suisse, February 19, 2013.
- 360 Cooper, Mark, "Renaissance in Reverse: Competition Pushes Aging U.S. Nuclear Reactors to the Brink of Economic Abandonment", Vermont Law School, July 18, 2013
- 361 Douglass, Elizabeth, "First U.S. Nuclear Power Closures in 15 Years Signal Wider Problems for Industry", Sept, 24 2013.
- 362 Eggers, Dan et al, "Nuclear... The Middle Age Dilemma? - Facing Declining Performance, Higher Costs, Inevitable Mortality", Credit Suisse, February 19, 2013.
- 363 Eggers, Dan et al, "Nuclear... The Middle Age Dilemma? - Facing Declining Performance, Higher Costs, Inevitable Mortality", Credit Suisse, February 19, 2013.
- 364 Patel, Tara, "EDF Writing 'Last Chapter' on Nuclear in U.S., Piquemal Says", Bloomberg, July 30, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-07-30/edf-writing-last-chapter-on-nuclear-in-u-s-piquemal-says.html>
- 365 Wald, Matthew, "USEC, Enricher of Uranium for U.S., Seeks Bankruptcy", New York Times, December 16, 2013. <http://www.nytimes.com/2013/12/17/business/energy-environment/usec-enricher-of-uranium-for-us-seeks-bankruptcy.html>
- 366 "USEC Portsmouth 'American Centrifuge Plant' project, USA", Wise Uranium. <http://www.wise-uranium.org/epusecc.html>
- 367 Romm, Joe, "Exclusive analysis, Part 1: The staggering cost of new nuclear power", ClimateProgress, January 5, 2009. <http://thinkprogress.org/climate/2009/01/05/202859/study-cost-risks-new-nuclear-power-plants/>
- 368 "Average Retail Price of Electricity to Ultimate Customers by End-Use Sector", U.S. Energy Information Administration. http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_5_6_a
- 369 Gossens, Ehren, and Marin, Christopher, "First Solar: May Sell Solar at Less than Coal", Bloomberg News, February 1, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-02-01/first-solar-may-sell-cheapest-solar-power-less-than-coal.html>
- 370 "Exelon scraps Texas reactor project", Nuclear Engineering International, August 29, 2012. <http://www.neimagazine.com/news/newsexelon-scraps-texas-reactor-project-721>

-
- 371 Rago, Joseph, "A Life in Energy and (Therefore) Politics", Wall Street Journal, October 22, 2011. <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424052970204618704576641351747987560>
- 372 Macalister, Terry, "Hinkley Point C nuclear subsidy plan queried by European commission", The Guardian, December 18, 2013. <http://www.theguardian.com/business/2013/dec/18/hinkley-point-c-nuclear-subsidy-european-commission>
- 373 "Ivanpah Solar Electric Generating System Reaches 'First Sync' Milestone", Brightsource company press release, September 24, 2013. <http://www.brightsourceenergy.com/first-sync>
- 374 Mahdi, Wael, and Roca, Marc, "Saudi Arabia Plans \$109 Billion Boost for Solar Power", Bloomberg, May 11, 2012. <http://www.bloomberg.com/news/2012-05-10/saudi-arabia-plans-109-billion-boost-for-solar-power.html>
- 375 Mahdi, Wael, and Roca, Marc, "Saudi Arabia Plans \$109 Billion Boost for Solar Power", Bloomberg, May 11, 2012. <http://www.bloomberg.com/news/2012-05-10/saudi-arabia-plans-109-billion-boost-for-solar-power.html>
- 376 "U.S. Crude Oil First Purchase Price", U.S. Energy Information Administration. http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=F000000__3&f=A
- 377 "1970 Economy / Prices", 1970sFlashback.com. <http://www.1970sflashback.com/1970/economy.asp>
- 378 "BP Statistical Review of World Energy", June 2013. <http://www.bp.com/statisticalreview>
- 379 Sreekumar, Ariun, "Why Canada's Oil Sands Boom Could Turn to Bust", The Motley Fool, May 1, 2013. <http://www.fool.com/investing/general/2013/05/01/why-canadas-oil-sands-boom-could-turn-to-bust.aspx>
- 380 Sreekumar, Ariun, "Why Canada's Oil Sands Boom Could Turn to Bust", The Motley Fool, May 1, 2013. <http://www.fool.com/investing/general/2013/05/01/why-canadas-oil-sands-boom-could-turn-to-bust.aspx>
- 381 "Performance Profile of Major Energy Producers 2009", Feb 2011, U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov/finance/performanceprofiles/pdf/020609.pdf>
- 382 "Petroleum and Other Liquids, Spot Prices", U.S. Energy Information Administration, downloaded July 19th, 2013. http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_a.htm
- 383 "Petroleum and Other Liquids, Spot Prices", U.S. Energy Information Administration.

-
- 384 Suo, Jenny, "Tokelau to become world's first solar-powered country", 3News, July 25, 2012. <http://www.3news.co.nz/Tokelau-to-become-worlds-first-solar-powered-country/tabid/1160/articleID/262649/Default.aspx#ixzz22E03tNx3>
- 385 Wikipedia contributors, "Tokelau", Wikipedia, the Free Encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Tokelau>
- 386 "Tokelau 100% Powered", PowerSmart Solar. http://powersmartsolar.co.nz/our_projects/id/185/TOKELAU%20-%20100%25%20SOLAR%20POWERED
- 387 Wikipedia contributors, "Communications In India", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Communications_in_India
- 388 Seba, Tony, "India Needs to Leapfrog to Solar and Electricity 2.0", Aug 8, 2012. <http://tonyseba.com/cleanenergyeconomy/india-needs-to-leapfrog-to-solar-and-electricity-2-0/>
- 389 "Developing Countries Subsidize Fossil Fuels, Artificially Lowering Prices", Institute for Energy Research, January 3, 2013. <http://www.instituteforenergyresearch.org/2013/01/03/developing-countries-subsidize-fossil-fuel-consumption-creating-artificially-lower-prices/>
- 390 André-Jacques Auberton-Hervé presentation at the Intersolar NorthAmerica CEO panel, July 9th, 2013.
- 391 "Energy Subsidy Reform: Lessons and Implications", International Monetary Fund, January 28, 2013.
- 392 Wang, Yue, "More People Have Cell Phones Than Toilets, U.N. Study Shows", Time, March 25, 2013
- 393 DeGunther, Rik, "How Large Does Your Solar Power System Need to Be?", from Solar Power Your Home For Dummies, 2nd Edition. <http://www.dummies.com/how-to/content/how-large-does-your-solar-power-system-need-to-be.seriesId-246925.html>
- 394 Narasimha Rao et al, "An overview of Indian Energy Trends: Low Carbon Growth and Development Challenges", Prayas Energy Group, India, September 2009.
- 395 "Green stoves to replace chullahs", Times of India, December 3, 2009. <http://timesofindia.indiatimes.com/india/Green-stoves-to-replace-chullahs/articleshow/5293563.cms>
- 396 U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics. http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/html/table_01_32.html
- 397 "All-Electric Vehicles: Compare Side-by-Side", FuelEconomy.gov, U.S. Department of Energy. <http://www.fueleconomy.gov/feg/evsbs.shtml>

-
- 398 Berman, Brad, "What It Takes to Get 100 Miles of Range in My Electric Car", PlugInCars.com, August 25, 2011. <http://www.pluginCars.com/what-it-takes-get-100-miles-range-my-electric-car-107677.html>
- 399 "All-Electric Vehicles: Compare Side-by-Side", U.S. Department of Energy. <http://www.fueleconomy.gov/feg/evsbs.shtml>
- 400 Willis, Ben, "Amonix beats own record with 35.9% CPV module efficiency", PV Tech, August 21, 2013. http://www.pv-tech.org/news/amonix_beats_own_record_with_35.9_cpv_module_efficiency
- 401 "The Truth About America's Energy: Big Oil Stockpiles Supplies and Pockets Profits," A Special Report by the Committee on Natural Resources Majority Staff," U.S. House of Representatives, Committee on Natural Resources, Rep Nick J. Hall - Chairman, June 2008.
- 402 "How Big Box Stores like Wal-Mart Affect the Environment and Communities", Sierra Club. http://www.sierraclub.org/sprawl/reports/big_box.asp
- 403 Wikipedia contributors, "2010 San Bruno Explosion", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/2010_San_Bruno_pipeline_explosion
- 404 Photo: Brocken Inaglory, Source: Wikimedia, the Free Encyclopedia.
- 405 Wikipedia contributors, "The 1906 San Francisco Earthquake", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/1906_San_Francisco_earthquake
- 406 Alleman, James E., and Moseman, Brooke, "Asbestos Revisited", Scientific American, July 1997.
- 407 Wikipedia contributors, "Greenhouse Gas", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas https://en.wikipedia.org/wiki/File:Devastation_in_San_Bruno.jpg
- 408 "Natural Gas Transmission Leakage Rates", SourceWatch Center for Media and Democracy, retrieved July 21, 2013. http://www.sourcewatch.org/index.php?title=Natural_gas_transmission_leakage_rates
- 409 Revkin, Andrew, and Krauss, Clifford, "Curbing Emissions by Sealing Gas Leaks", New York Times, Oct 14, 2009. <http://www.nytimes.com/2009/10/15/business/energy-environment/15degrees.html>
- 410 Wikipedia contributors, "2010 San Bruno Pipeline Explosion", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/2010_San_Bruno_pipeline_explosion
- 411 "About Natural Gas Pipelines", Energy Information Administration. http://www.eia.gov/pub/oil_gas/natural_gas/analysis_publications/ngpipeline/index.html
- 412 "The State of the National Pipeline Infrastructure", U.S. Department of Transportation.

-
- 413 Revkin, Andrew, and Krauss, Clifford, "Curbing Emissions by Sealing Gas Leaks", New York Times, Oct 14, 2009. <http://www.nytimes.com/2009/10/15/business/energy-environment/15degrees.html>
- 414 Mann, Charles, "What if we Never Run out of Oil", The Atlantic, April 24, 2013. <http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2013/05/what-if-we-never-run-out-of-oil/309294/5/>
- 415 Mann, Charles, "What if we Never Run out of Oil", The Atlantic, April 24, 2013. <http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2013/05/what-if-we-never-run-out-of-oil/309294/5/>
- 416 Wikipedia contributors, "Greenhouse Gas", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas
- 417 "We're Working to do the right thing, every day", PG&E advertising page A3, San Francisco Chronicle, October 31, 2013
- 418 PG&E Corporation and Pacific Gas and Electric 2012 Annual Report". http://investor.pgecorp.com/files/doc_downloads/2012_Annual_Report.pdf
- 419 "The Next Shock?", The Economist, March 4th, 1999. <http://www.economist.com/node/188181>
- 420 "The Next Shock?", The Economist, March 4th, 1999. <http://www.economist.com/node/188181>
- 421 "FAQ: How many gallons of gasoline does one barrel of oil make?", U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=24&t=10>
- 422 Mouawad, Jad, "One Year After Oil's Price Peak: Volatility", The New York Times, July 10, 2009. <http://green.blogs.nytimes.com/2009/07/10/one-year-after-oils-price-peak-volatility/>
- 423 "U.S. Crude Oil First Purchase Price", U.S. Energy Information Administration. http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=pet&s=f000000__3&f=m
- 424 "U.S. Natural Gas Wellhead Price", U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov/dnav/ng/hist/n9190us3A.htm>
- 425 "U.S. Price of Natural Gas Delivered to Residential Customers", U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov/dnav/ng/hist/n3010us3M.htm>
- 426 International Energy Agency, "World Energy Outlook 2012 - Executive Summary". www.worldenergyoutlook.org
- 427 "The Next Qatar?", The Economist, July 25, 2013, retrieved August 5, 2013. <http://www.economist.com/news/business/21582272-cost-exploiting-australias-new-found-gas-supplies-soaring-next-qatar>

-
- 428 “The Next Qatar?”, *The Economist*, July 25, 2013, retrieved August 5, 2013. <http://www.economist.com/news/business/21582272-cost-exploiting-australias-new-found-gas-supplies-soaring-next-qatar>
- 429 “Energy In Australia 2012”, Bureau of Resources and Energy Economics, February 2012. <http://www.bree.gov.au/documents/publications/energy-in-aust/energy-in-australia-2012.pdf>
- 430 Bruce Leslie, “Solar Thermal Power The Next Resources Boom” Presented to the Australian Institute of Energy, October 25, 2011. http://aie.org.au/StaticContent%5CImages%5CIBRI111025_Presentation_1.pdf
- 431 ReneSola, 156 Series Monocrystalline Solar Module, Irradiation efficiencies vary from 15.9% to 16.2%. <http://www.renesola.com>
- 432 Martin, James, “Solar PV Price Index–July 2013”, *Solar Choice*, July 4, 2013
- 433 Martin, James, “Solar PV Price Index–July 2013”, *Solar Choice*, July 4, 2013.
- 434 “Risk Quantification and Risk Management in Renewable Energy Projects”, AltTran, Arthur D. Little for International Energy Agency (IEA), June 14, 2011.
- 435 Nussbaum, Alex, “Radioactive Waste Booms With Fracking as New Rules Mull’d”, *Bloomberg*, Apr 16, 2014. <http://www.bloomberg.com/news/2014-04-15/radioactive-waste-booms-with-oil-as-new-rules-mulled.html>
- 436 Andresen, Tino, “German Utilities Hammered in Market Favoring Renewables”, *Bloomberg*, August 12, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-08-11/german-utilities-hammered-in-market-favoring-renewables.html>
- 437 Wikipedia contributors, “Exemptions for Hydraulic Fracturing Under United States Federal Law”, *Wikipedia, the Free Encyclopedia*. http://en.wikipedia.org/wiki/Exemptions_for_hydraulic_fracturing_under_United_States_federal_law
- 438 “Fracking and Water Consumption”, *SourceWatch Center for Media and Democracy*. http://www.sourcewatch.org/index.php/Fracking_and_water_consumption
- 439 “Fracking”, *SourceWatch Center for Media and Democracy*. <http://www.sourcewatch.org/index.php/Fracking>
- 440 Schrope, Mark, “Fracking Outpaces Science on Its Impact”, *Yale Environment 360*. <http://environment.yale.edu/envy/stories/fracking-outpaces-science-on-its-impact>

-
- 441 Kennedy, Will, "Exxon Charged With Illegally Dumping Waste in Pennsylvania", Bloomberg, September 11, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-09-11/exxon-charged-with-illegally-dumping-waste-water-in-pennsylvania.html>
- 442 Martin, Allen, "Oil Company Caught Illegally Dumping Fracking Discharge In Central Valley", CBS SF Bay Area, November 26, 2013. <http://sanfrancisco.cbslocal.com/2013/11/26/oil-company-caught-illegally-dumping-fracking-discharge-in-central-valley/>
- 443 "Golden Rules for a Golden Age of Gas", International Energy Agency (IEA), 2012. http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowsite/2012/goldenrules/WEO2012_GoldenRulesReport.pdf
- 444 International Energy Agency, "World Energy Outlook 2012 – Executive Summary". <http://www.worldenergyoutlook.org>
- 445 "Golden Rules for a Golden Age of Gas", International Energy Agency (IEA), 2012.
- 446 "World Energy Outlook 2012 – Executive Summary", International Energy Agency.
- 447 "World Energy Outlook 2012 – Executive Summary", International Energy Agency.
- 448 "Honeywell Green Jet Fuel™ Powers First-Ever Transatlantic Biofuel Flight", Honeywell company press release, June 18, 2011. <http://honeywell.com/News/Pages/Honeywell-Green-Jet-Fuel-Powers-First-Ever-Transatlantic-Biofuel-Flight.aspx>
- 449 DiMugno, Laura, "Wind Energy Jobs Surface at Presidential Debates", North American Wind Power, Oct 18, 2012. http://www.nawindpower.com/e107_plugins/content/content.php?content.10553
- 450 "Renewable and Alternative Fuels", U.S. Energy Information Agency. <http://www.eia.gov/renewable/>
- 451 Miller, Ron, "What the Death of the Sun Will Look Like", April 9, 2013. <http://io9.com/what-the-death-of-the-sun-will-look-like-471796727>
n-chinas-northern-coal-fields/
.5ogycompañler hab
- 452 "Towards a Sustainable Future for All – Directions for the World Bank Group's Energy Sector", World Bank Group, retrieved July 28, 2013. http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2013/07/17/000456286_20130717103746/Rendered/PDF/795970SST0SecM00box377380B00PUBLIC0.pdf
- 453 Winnie Gerbens-Leenesa,1, Arjen Y. Hoekstra, and Theo H. van der Meer, "The Water Footprint of Bioenergy," Department of Water Engineering and Management and Laboratory of Thermal Engineering, University of Twente, Enschede, The Netherlands, April 2, 2009.

-
- 454 Wikipedia contributors, "Olympic Size Swimming Pool", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Olympic-size_swimming_pool
- 455 "Cornel Emeritus Professor David Pimentel", Cornell University. <http://vivo.cornell.edu/display/individual5774>
- 456 United States Geological Services USGS, "Estimated Use of Water in the United States in 2005". <http://pubs.usgs.gov/circ/1344/pdf/c1344.pdf>
- 457 "Carbon Disclosure Project Electric Utilities – Building Business Resilience Inevitable Climate Change", IBM, 2009.
- 458 Fischetti, Mark, "How Much Water Do Nations Consume?", Scientific American, May 21, 2012. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=graphic-science-how-much-water-nations-consume>
- 459 Fischetti, Mark, "How Much Water Do Nations Consume?", Scientific American, May 21, 2012. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=graphic-science-how-much-water-nations-consume>
- 460 "Fracking and Water Consumption", SourceWatch Center for Media and Democracy. http://www.sourcewatch.org/index.php/Fracking_and_water_consumption
- 461 Wikipedia contributors, "Ogallala Aquifer", Wikipedia, the Free Encyclopedia, retrieved 13 Apr 2009. http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ogallala_Aquifer.
- 462 Jane Braxton Little, "The Ogallala Aquifer: Saving a Vital U.S. Water Source", Scientific American, March 30, 2009. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=the-ogallala-aquifer>
- 463 Wikipedia contributors, "Ogallala Aquifer." Wikipedia, the Free Encyclopedia.
- 464 "Compare Gulfstream G450 – G550 – G650", Aviation News Channel. <http://www.decartsnews.com/compare-gulfstream-g450-g550-g650/>
- 465 Wikipedia contributors, "List of United States Cities by Population", Wikipedia, the Free Encyclopedia, retrieved 24 July 2011. http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_United_States_cities_by_population
- 466 "Lufthansa 747 operates first transatlantic biofuel flight to US", Aviation Brief, January 16, 2012. <http://www.aviationbrief.com/?p=5591>
- 467 "Technical Characteristics – Boeing 747-400", Boeing. http://www.boeing.com/boeing/commercial/747family/pf/pf_400_prod.page?

-
- 468 "Water Consumption", Water for Africa Institute. <http://www.water-for-africa.org/en/water-consumption.html>
- 469 Wikipedia contributors, "Biofuel", Wikipedia, the Free Encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Biofuel>
- 470 "Jatropha - The Plant", Jatro. <http://www.jatrofuels.com/164-0-Jatropha.html>
- 471 Bullis, Kevin, "Biofuels Companies Drop Biomass and Turn to Natural Gas", MIT Technology Review, October, 2012. <http://www.technologyreview.com/news/506561/biofuels-companies-drop-biomass-and-turn-to-natural-gas/>
- 472 Bullis, Kevin, "Biofuels Companies Drop Biomass and Turn to Natural Gas", MIT Technology Review, October, 2012. . <http://www.technologyreview.com/news/506561/biofuels-companies-drop-biomass-and-turn-to-natural-gas/>
- 473 Bullis, Kevin, "BP Plant Cancellation Darkens Cellulosic Ethanol's Future", MIT Technology Review, November 2, 2012. <http://www.technologyreview.com/news/506666/bp-plant-cancellation-darkens-cellulosic-ethanols-future/>
- 474 Downing, Louise, and Gismatullin, Eduard, "Biofuel Investments at Seven-Year Low as BP Blames Cost", Bloomberg, July 8, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-07-07/biofuel-investments-at-seven-year-low-as-bp-blames-cost.html>
- 475 Seba, Tony, "Solar Trillions- 7 Market and Investment Opportunities in the Emerging Clean Energy Economy", 2010.
- 476 Webber, Michael, "Energy versus Water: Solving Both Crises Together", Scientific American, September 1, 2008. <http://www.sciam.com/article.cfm?id=the-future-of-fuel>
- 477 "USDA Offers Loans for Biorefineries", Iowa Energy Center, October 23, 2013. <http://www.iowaenergycenter.org/2013/10/usda-offers-loans-for-advanced-biorefineries/>
- 478 "Combined Heat & Power (CHP) solar generator based on High Concentrated Photovoltaic (HCPV)", Suncore. <http://www.suncorepv.com/index.php?m=content&c=index&a=lists&catid=125>
- 479 Seba, Tony, "Solar Trillions- 7 Market and Investment Opportunities in the Emerging Clean Energy Economy", 2010.
- 480 "India Sends Its Last Telegram. Stop", The Telegraph, July 15, 2013. <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/asia/india/10180463/India-sends-its-last-telegram.-Stop.html>

-
- 481 Volcovici, Valerie, "World Bank plans to limit financing of coal-fired power plants", Reuters, June 26, 2013. <http://www.reuters.com/article/2013/06/27/usa-climate-world-bank-idUSL2NOF300W20130627>
- 482 "Towards a Sustainable Future for All - Directions for the World Bank Group's Energy Sector", World Bank Group, retrieved July 28, 2013. http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2013/07/17/000456286_20130717103746/Rendered/PDF/795970SST0SecM00box377380B00PUBLIC0.pdf
- 483 "European Investment Bank to Stop Financing Coal-Fired Plants", The Guardian, July 24, 2103. <http://www.guardian.co.uk/environment/2013/jul/24/eu-coal-power-plants-carbon-emissions-climate>
- 484 Plumer, Brad, "The U.S. will stop financing coal plants abroad. That's a huge shift.", The Washington Post Wonkblog, June 27, 2013. <http://www.washingtonpost.com/blogs/wonkblog/wp/2013/06/27/the-u-s-will-stop-subsidizing-coal-plants-overseas-is-the-world-bank-next/>
- 485 "Coal at Risk as Global Lenders Drop Financing on Climate", Bloomberg New Energy Finance, August 6, 2013. <http://about.bnef.com/bnef-news/coal-at-risk-as-global-lenders-drop-financing-on-climate/>
- 486 Gruver, Mead, "Powder River Basin Coal Lease Auction Receives No Bids For First Time In Wyoming History", the Huffington Post, August 22, 2013. http://www.huffingtonpost.com/2013/08/22/powder-river-basin-coal_n_3794792.html
- 487 Fan, Hugh, "A Credit Analysis For Coal Mining Companies", Seeking Alpha, Jun. 19, 2013. <http://seekingalpha.com/article/1509622-a-credit-analysis-for-coal-mining-companies>
- 488 "Walter Energy Inc", Morningstar. <http://quotes.morningstar.com/stock/s?t=WLT>
- 489 Keenan, Mike, and LaCorte, Joseph, "Q3 2013 Review: Coal", Stowe Global. <http://stowe.snetglobalindexes.com/pdf/coal-IndexInsights-20131202.pdf>
- 490 "Facebook: stock quote and summary data", Nasdaq. <http://www.nasdaq.com/symbol/fb>
- 491 "Google: stock quote and summary data", Nasdaq. <http://www.nasdaq.com/symbol/goog>
- 492 Williams-Derry, Clark, "The Hidden Export Bombshell in Cloud Peak's Financials", SightLine Daily, Sept 23, 2013. <http://daily.sightline.org/2013/09/23/the-hidden-export-bombshell-in-cloud-peaks-financials/>
- 493 "How Old are U.S. Power Plants", U.S. Energy Information Administration. http://www.eia.gov/energy_in_brief/article/age_of_elec_gen.cfm

-
- 494 Energy Perspectives, U.S. Energy Information Administration. www.eia.gov/totalenergy/data/annual/EnergyPerspectives.xls
- 495 Kubiszewski, Ida, "Powerplant and Industrial Fuel Use Act of 1978, United States", Encyclopedia of Earth, September 3, 2006. <http://www.eoearth.org/view/article/155329/>
- 496 "Energy Policy Act of 1992", U.S. Energy Information Administration. http://www.eia.gov/oil_gas/natural_gas/analysis_publications/ngmajorleg/energypolicy.html
- 497 Darian Unger and Howard Herzog, "Comparative Study on Energy R&D Performance: Gas Turbine Case Study", Massachusetts Institute of Technology Energy Laboratory, Prepared for Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Final Report, August 1998.
- 498 "How Old are U.S. Power Plants?", U.S. Energy Information Administration. http://www.eia.gov/energy_in_brief/article/age_of_elec_gen.cfm
- 499 Doughman, Andrew, "NV Energy to decommission coal plants, shift to gas and renewables", Las Vegas Sun, April 2, 2014. <http://www.lasvegassun.com/news/2013/apr/02/nv-energy-decommission-coal-plants-shift-gas-and-r/>
- 500 "NV Energy Acquisition Information", NV Energy. <https://www.nvenergy.com/company/acquisition/>
- 501 Davis, Tina, and Goossens, Ehren, "Buffett Utility Buys \$2.5 Billion SunPower Solar Projects", Bloomberg, January 2, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-01-02/buffett-utility-buys-sunpower-projects-for-2-billion.html>
- 502 McCarthy, James E., "EPA Standards for Greenhouse Gas Emissions from Power Plants: Many Questions, Some Answers", US Congressional Research Services, November 15, 2013. <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R43127.pdf>
- 503 http://pdf.wri.org/global_coal_risk_assessment.pdf
- 504 "Energy Subsidy Reform: Lessons and Implications", International Monetary Fund, January 28, 2013.
- 505 Yang, Ailun, and Cui, Yiyun, "Global Coal Risk Assessment", World Resources Institute, November, 2012. <http://about.bnef.com/bnef-news/coal-at-risk-as-global-lenders-drop-financing-on-climate/>
- 506 "Annual Energy Review", U.S. Energy Information Administration. <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/showtext.cfm?t=ptb0709>
- 507 "Coal and Jobs in the United States", SourceWatch Center for Media and Democracy. http://www.sourcewatch.org/index.php?title=Coal_and_jobs_in_the_United_States

-
- 508 “Coal and Jobs in the United States”, SourceWatch Center for Media and Democracy. http://www.sourcewatch.org/index.php?title=Coal_and_jobs_in_the_United_States
- 509 Pyke, Alan, “Coal Workers Lose Pensions As Execs At Bankrupt Company Get Bonuses”, ClimateProgress, May 31, 2013.
- 510 “Towards a Sustainable Future for All – Directions for the World Bank Group’s Energy Sector”, World Bank Group.
- 511 “Desperate Measures”, The Economist, Oct 10, 2013.
- 512 Jun, Ma, and Li, Naomi, “Tackling China’s water crisis online”, China Dialogue, Sept 21, 2006.
- 513 Schneider, Keith, “Bohai Sea Pipeline Could Open China’s Northern Coal Fields”, Circle of Blue, April 5, 2011. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/desalinating-the-bohai-sea-transcontinental-pipeline-could-open-chinas-northern-coal-fields/>
- 514 Schneider, Keith, “China’s Other Looming Choke Point: Food Production”, Circle of Blue, May 26, 2011. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/chinas-other-looming-choke-point-food-production/>
- 515 Luo, Tianvi, Otto, Betsy, and Maddocks, Andrew, “Majority of China’s Proposed Coal-Fired Power Plants Located in Water-Stressed Regions”, World Resources Institute, August 26, 2013. <http://www.wri.org/blog/majority-china%E2%80%99s-proposed-coal-fired-power-plants-located-water-stressed-regions>
- 516 Luo, Tianvi et al, “Water Risks on the Rise for Three Global Energy Production Hot Spots”, World Resources Institute, November 7, 2013. <http://www.wri.org/blog/water-risks-rise-three-global-energy-production-hot-spots>
- 517 “South-North Water Transfer Project”, International Rivers. <http://www.internationalrivers.org/campaigns/south-north-water-transfer-project>
- 518 Wikipedia contributors, “North Water Transfer Project”, Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/South%E2%80%93North_Water_Transfer_Project
- 519 “Bohai Sea Pipeline Could Open China’s Northern Coal Fields”, Circle of Blue, April 5, 2011. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/desalinating-the-bohai-sea-transcontinental-pipeline-could-open-chinas-northern-coal-fields/>
- 520 “A Bulletin of Status Quo of Desertification and Sandification in China”, State Forestry Administration, P.R. China, January 2011. <http://www.forestry.gov.cn/uploadfile/main/2011-1/file/2011-1-5-59315b03587b4d7793d5d9c3aae7ca86.pdf>

-
- 521 King, Ed, "Desertification crisis affecting 168 countries worldwide, study shows", The Guardian, April 17, 2013. <http://www.theguardian.com/environment/2013/apr/17/desertification>
- 522 "Desertification – A Visual Synthesis", United Nations Convention to Combat Desertification. <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Desertification-EN.pdf>
- 523 "Rivers are disappearing in China. Building canals is not the solution", The Economist, Oct 10, 2013. <http://www.economist.com/news/leaders/21587789-desperate-measures>
- 524 "Pollution Forces North China to a Standstill", The Wall Street Journal, Oct 23, 2013.
- 525 Wikipedia contributors, "Particulates", Wikipedia, the Free Encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>
- 526 "Particulate Matter Management in the Bay Area", Saffet Tanrikulu, Ph.D., Bay Area Air Quality Management District San Francisco, CA presented at the 2nd Korea-U.S. Symposium on Air Environment Policies Seoul, ROK November 29-30, 2012. <http://www.baaqmd.gov/~media/Files/Planning%20and%20Research/Research%20and%20Modeling/PM%20Mgt%20in%20SFBA.ashx>
- 527 "Air Pollution Linked to 1.2 Million Premature Deaths in China", New York Times, April 1, 2013. <http://www.nytimes.com/2013/04/02/world/asia/air-pollution-linked-to-1-2-million-deaths-in-china.html>
- 528 Lavelle, Marianne, "Coal Burning Shortens Lives in China", National Geographic, July 8, 2013. <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2013/07/130708-coal-burning-shortens-lives-in-china/>
- 529 Wong, Edward, "Air Pollution Linked to 1.2 Million Premature Deaths in China", New York Times, April 1, 2013. <http://www.nytimes.com/2013/04/02/world/asia/air-pollution-linked-to-1-2-million-deaths-in-china.html>
- 530 Wikipedia contributors, "Coal", Wikipedia, the Free Encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Coal>
- 531 "Indian Coal". http://www.indianetzone.com/24/indian_coal.htm
- 532 Wikipedia contributors, "Coal", Wikipedia, the Free Encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Coal>
- 533 King, Ed, "Desertification crisis affecting 168 countries worldwide, study shows", The Guardian, April 17, 2013.
- 534 "Statement of Charles D. Connor, President and Chief Executive Officer, American Lung Association", American Lung Association, May 12, 2010. <http://www.lung.org/press-room/press-releases/statement-of-charles-d.html>

-
- 535 Wikipedia contributors, "United States Military Casualties of War", Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_military_casualties_of_war
- 536 "Coal Costs the U.S. \$500 Billion / year in Health, Economic, Environmental Impacts pollution", FastCompany, February 11, 2011. <http://www.fastcompany.com/1727949/coal-costs-us-500-billion-annually-health-economic-environmental-impacts>
- 537 Schwarts, Ariel, "Coal Costs the U.S. \$500 Billion / year in Health, Economic, Environmental Impacts pollution", FastCompany, February 11, 2011.
- 538 Williams-Derry, Clark, "The Hidden Export Bombshell in Cloud Peak's Financials", SightLine Daily, Sept 23, 2013. <http://daily.sightline.org/2013/09/23/the-hidden-export-bombshell-in-cloud-peaks-financials/>
- 539 Goossens, Ehren, and Martin, Christopher, "First Solar: May Sell Solar at Less than Coal", Bloomberg, February 1, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-02-01/first-solar-may-sell-cheapest-solar-power-less-than-coal.html>
- 540 Goossens, Ehren, and Martin, Christopher, "First Solar: May Sell Cheapest Solar Power, Less than Coal", Bloomberg News, February 1, 2013, retrieved July 25, 2013. <http://www.bloomberg.com/news/2013-02-01/first-solar-may-sell-cheapest-solar-power-less-than-coal.html>
- 541 "IN THE MATTER OF EL PASO ELECTRIC COMPANY'S APPLICATION FOR APPROVAL OF A LONG TERM PURCHASE POWER AGREEMENT WITH MACHO SPRINGS SOLAR, LLC", Case No. 12-00386-UT. <http://164.64.85.108/infodocs/2013/1/PRS20179845DOC.PDF>
- 542 Rube Goldberg gif image. <http://imgur.com/gallery/QCuGNsd>
- 543 Channell, Jason, Lam, Timothy, and Pourreza, Shahriar, "Shale & Renewables: A Symbiotic Relationship", Citi Research, Sept 12, 2012.

La era industrial de la energía y el transporte está a punto de disrupción. Este libro demuestra que la tecnología solar, los vehículos eléctricos y autónomos y otras tecnologías exponenciales están abriendo paso a la nueva era de la energía limpia, basada en el conocimiento.

La Edad de Piedra no se acabó porque nos quedáramos sin piedras. Se terminó porque las rocas fueron desplazadas por una tecnología superior: el bronce. La era de las fuentes de energía centralizadas, de "control y mando", basadas en la extracción de recursos, no se terminará porque nos quedemos sin petróleo, gas natural, carbón o uranio.

Se terminará porque estas fuentes de energías, los modelos de negocio que utilizan, y los productos que los sostienen se volverán obsoletos gracias a tecnologías, arquitecturas de producto y modelos de negocios superiores. Tecnologías exponenciales como la energía solar, eólica, los vehículos eléctricos y autónomos traerán la disrupción y barrerán las industrias de la energía y el transporte tal como las conocemos.

Ésta es una disrupción basada en la tecnología, reminiscente de cómo el teléfono móvil, internet o las computadoras personales barrieron industrias como la telefonía fija, la publicación y la fotografía con rollos de película. Así como estas disrupciones voltearon la arquitectura de la información, así la disrupción limpia volteará la arquitectura de la energía y traerá una energía limpia, abundante y participativa. Similarmente la disrupción limpia es inevitable y será rápida. La era industrial de la energía y el transporte se acabará para 2030. O quizá antes.



Disrupción Limpia es un libro visionario sobre la transición energética exponencial de energías fósiles a energías limpias. España ha sido pionera en algunas áreas de energía renovable, y podría seguir siéndolo con una clara visión de futuro. Latinoamérica también podría convertirse en la Arabia Saudita de las energías renovables.

Ramón Tamames, miembro de número de la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas, economista, político, y colaborador en prensa y radio.

Disrupción Limpia es un libro realmente revolucionario que visualiza la evolución exponencial de las industrias de la energía y el transporte durante las próximas dos décadas. ¿Serán acertadas las predicciones de Tony Seba una vez más? Sinceramente creo que así será, ¡para el beneficio de toda la humanidad!

José Luis Cordeiro, director del Millennium Project, profesor fundador de Singularity University, autor, y experto en energía y tecnología.

www.tonyseba.com

ISBN 9780997047103



9 780997 047103