



Documento de Trabajo No. 02/16
Marzo 2016

**Introducción al Estudio de la
Economía del Sector Energético**

por:

*Karen M. Martínez Torrico
Javier Aliaga Lordemann*

Introducción al estudio de la Economía del Sector Energético

*Karen M. Martínez Torrico
Javier Aliaga Lordemann*

Resumen

Debido a la importancia del funcionamiento y desarrollo del sector energético para el desempeño y estabilidad de la economía, su análisis se ha convertido en una rama de las ciencias económicas. Para este estudio deben examinarse las características de cada una de las industrias que lo conforman, así como también hacer uso de instrumentos de análisis, conceptos y teorías que parten tanto de la teoría económica clásica de maximización de beneficios, como de la teoría de la mina interesada en determinar el comportamiento óptimo de las empresas extractivas. El manejo y comprensión de estos instrumentos y herramientas constituye el primer y principal paso para realizar trabajos de investigación interesados en comprender la relación económico-energética, motivo por el cual serán abordados a lo largo de este documento introductorio de la Economía del Sector Energético, junto a los aspectos generales más importantes e individuales de cada una de las industrias del sector.

Abstract

Because of the importance of the energy sector's development for the performance and stability of the economy, its analysis has become an intriguing branch of the economic sciences. For this study it should be tested the characteristics of each of the industries that comprise it, as well as make use of analytical, concepts and theorist tools; that leave both, the classical economic theory of profit maximization, and the theory of mine that it is interested in determining the optimal behavior of extractive companies. The management and understanding of these instruments and analytical tools represents the first and necessary step for the development of research interested in understanding the economic and energy relationship. A reason why it'll be discussed throughout this introductory paper on the Economics of Energy Sector.

CLASIFICACION JEL: D01, D33, D46, D61, D62, D82, D84, Q40, Q41, Q42, Q43, Q48, Q49, Q50, Q51, Q53, Y20.

PALABRAS CLAVE: Economía del Sector Energético, Teoría de la Mina, Reservas, Recursos Agotables, Valor Presente, Industria del Carbón, Industria del Petróleo, Industria de Gas Natural, Industria de Generación de Electricidad, Externalidades, Política Energética, Desarrollo Sostenible.

1 INTRODUCCIÓN

Largas filas en surtidores de combustibles líquidos, cortes de energía eléctrica, interrupción en los sistemas de producción, desempleo, inseguridad y malestar social, fueron tan solo algunos de los síntomas vividos durante la crisis de los 70s por todos los países que no formaban parte de la Organización de Países Exportadores de Petróleo. Hablamos de un punto de inflexión en la historia de la humanidad que dio fin a la *era de* la plena disponibilidad de recursos energéticos, y origen a las nuevas tendencias de consumo racional y producción alternativa de energía, de estudios académicos y de diseño de políticas económicas. Suceso que significó la redirección del foco de atención del crecimiento económico a las relaciones económico-energéticas.

La finalidad de este trabajo es de servir como un marco introductorio a la rama de la economía que tiene como objeto central el estudio de esta relación: la Economía del Sector Energético. Para esta tarea, se organiza este documento en cinco partes, que en conjunto resumen el alcance de este campo de estudio. La Sección 2 está diseñada para familiarizar al lector con los conceptos básicos del sector energético y económico. Las Secciones 3 y Sección 4 se dedican al estudio de las dos Industrias que son objeto de la Economía del Sector Energético: las Industrias Extractivas y las Industrias de Energía Eléctrica. En cada sección se profundizan las características tecnológicas y técnicas más importantes de estas industrias y de la teoría subyacente, i.e. la Teoría de la Mina. Uno de los aspectos que es mencionado en la Sección 4, acerca de las fuentes alternativas de generación de energía eléctrica son brevemente detalladas en la Sección 8 de los Anexos.

La Sección 5 y la Sección 6 hacen referencia a los temas de interés de planificación y de política, i.e. los impactos que tienen las Industrias Energéticas sobre el medio ambiente, la salud y la seguridad del hombre y las políticas de gobierno.

2 ENERGÍA y ECONOMÍA

En este apartado se introducen los instrumentos utilizados para analizar el desempeño del sector. Para esta tarea se parte de la aclaración de conceptos técnicos, como lo son las medidas de contenido calórico o los coeficientes energéticos, así como también del significado que tiene la teoría económica en el sector energético.

2.1 Instrumentos de Análisis

Para analizar e interpretar datos energéticos, elaborar pronósticos y otros estudios pertinentes, es necesario establecer unidades de medida de aceptación común. Para la contabilización de los inputs¹ utilizados para producir energía (*e.g.* carbón) y de los outputs energéticos (*e.g.* gasolina) son utilizadas medidas de contenido calórico, precios como indicadores de mercado y coeficientes energéticos. Estos tres instrumentos de análisis son estudiados a continuación.

¹ Dentro los inputs energéticos se consideran las fuentes utilizadas para la generación de energía como ser la combustión de recursos fósiles como el carbón o el petróleo y la generación a partir de fuentes alternativas como la energía solar, eólica y nuclear.

2.1.1 Medidas de contenido calórico

Por convenio general se utiliza la medida de contenido calórico para contabilizar la producción de energía. Dependiendo de las unidades métricas utilizadas, esta puede encontrarse en términos de Barriles² Equivalentes de Petróleo Bep o de British Thermal Units Btu; instrumentos que miden la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un gramo o libra de agua en un o.C o o.F respectivamente.

Esto significa que la generación de energía a partir de diferentes fuentes es contabilizada como si fuera producto de la combustión de petróleo. Por ejemplo, mientras un kWh de electricidad equivale exactamente a 3,412 Btu, la combustión de carbón, dependiendo de la eficiencia del proceso de generación, puede liberar cerca de 10,000 Btu de calor. La diferencia de equivalencias entre fuentes de energía se atribuye a la cantidad de energía que es disipada durante el proceso.

Contar con una medida común permite el cálculo de las relaciones de energía de una economía durante un periodo determinado. Este proceso es realizado en una cuenta conocida como *matriz energética* o *balance energético*, en la cual se visualizan los niveles de producción, exportación, importación, transformación y consumo de las diferentes fuentes de energía por cada uno de los sectores de la economía. Esta herramienta facilita el cálculo de relaciones de eficiencia y permite realizar diagnósticos de la situación energética de un país, región o continente dado (OLADE 1995).

Es importante señalar que, a diferencia de las industrias convencionales, no es conveniente en este sector agregar el output de las diferentes fuentes energéticas en base a su contenido calórico. Si bien el Btu o Bep sirven como medidas de unidad común para el sector, no significa que los productos de las diferentes industrias que conforman el sector energético sean homogéneos. Esto se debe a que los factores precio y eficiencia energética juegan un rol importante en las decisiones de elección de las fuentes de energía de hogares y empresas. Por este motivo es que algunos autores consideran que no es justificable considerar a las diferentes industrias dentro de una *misma bolsa*.

Para aclarar este último punto supongamos que existen hogares que pueden alimentar sus sistemas de calefacción a partir de cinco alternativas: la combustión de carbón, madera, gas, derivados del petróleo o electricidad. La cuestión es, ¿son los hogares indiferentes de elegir una de fuentes de energía de este abanico de opciones? Aun suponiendo que los precios de estos recursos son los mismos, la decisión de los hogares está determinada por el nivel de eficiencia de los sistemas³.

Para el caso de las industrias, los requerimientos específicos de factores de producción en los procesos industriales hacen que no sea posible la sustitución inmediata, y que los costos de adaptabilidad al nuevo input energético sean muy altos.

² Considerándose un barril como un equivalente a 159 litros de petróleo o 42 galones de este hidrocarburo.

³ En una instalación doméstica típica, cerca del 60% del contenido calórico del gas natural es útil para fines de calefacción, mientras que el porcentaje restante es desperdiciado durante el proceso de combustión. Lo mismo sucede con la combustión del carbón y de la madera, cuyo proceso implica mayores riesgos para la salud y seguridad del consumidor. Por otra parte, la calefacción eléctrica es aprovechada en un 100%, dado que toda la energía adquirida es convertida en calor sin mayor dificultad. La calefacción mediante bombas de calor es más del 100% eficiente para aplicaciones particulares, la tecnología utilizada es capaz de producir cuatro veces más energía térmica que electricidad consumida.

2.1.2 Los Precios de la Energía

En el sector energético, no es conveniente considerar la producción en términos físicos y su agregación en términos de su contenido calórico, si es que no se consideran a la par los precios de las diferentes fuentes de energía. De la misma manera que, centrar la atención en el comportamiento de los precios del producto carece de sentido si es que no se toman en cuenta los niveles de producción y la eficiencia con la que producen energía. Citando a Spangar W. (1996) *“ninguna de estas medidas contiene toda la información necesaria para el análisis del sector”*.

Si las industrias del sector energético operasen bajo condiciones de competencia perfecta, entonces la intersección de la oferta y de la demanda proveería la información necesaria para agregar la producción de la energía. Pues los precios competitivos servirían como medida de la valoración de los consumidores de las diferentes fuentes de energía, tomando en consideración cuestiones de conveniencia y eficiencia energética, así como también incluirían la información necesaria sobre los costos privados y costos sociales incurridos a lo largo del proceso de producción.

Desafortunadamente, los precios de este mercado no son competitivos. Por el lado del consumo, la regulación de tarifas altera las decisiones de hogares y empresas, alejando los precios de los diferentes recursos energéticos de los costos marginales de producción y aumentando los costos de su consumo para la sociedad. Este punto se puede ejemplificar con el caso de la fijación de tarifas por bloques decrecientes para un determinado output energético, e.g. Electricidad. Esta medida podría inducir a los consumidores al uso indiscriminado de este recurso.

Por el lado de la producción esta situación es aún más compleja, debido a la evidente existencia de las fallas de mercado de: (1) monopolios naturales, (2) externalidades en la producción y (3) asimetrías en la información. Estos puntos serán contrastados para cada una de las industrias que conforman el sector energético.

2.1.3 Los Coeficientes Energéticos

Otros de los instrumentos utilizados para el análisis del sector son los coeficientes que asocian el requerimiento energético con procesos de consumo y de producción, permitiendo la elaboración de comparaciones a nivel intra e intersectorial.

Entre estos se encuentran coeficientes puramente físicos que dependen estrechamente de la tecnología, como coque/tn o kwh/tn; y coeficientes combinados que relacionan variables económicas con variables físicas. Para Bouille⁴ (2004) se pueden identificar en este último grupo los siguientes coeficientes: *(unidades energéticas físicas) / (unidades físicas del producto principal)*, e.g. ke/tn de cemento; *(unidades energéticas físicas) / (unidades monetarias del output)*, e.g. btu/el valor del output en dólares; y *(unidades económicas del insumo energético) / (unidades económicas del producto principal)*, e.g. valor de la cantidad de *(Btu) / (valor de la producción de cemento)*.

Estos coeficientes pueden ser aproximados de tres formas: análisis estadístico, de insumo producto y de procesos. El primero tiene el objetivo de realizar una estimación sobre los costos energéticos del sector relacionando datos estadísticos sobre el consumo de energía

⁴ El economista Daniel Bouille es actual Presidente de Fundación Bariloche, premio Nobel de la Paz 2007 y reconocido especialista en el sector energético a nivel regional.

con el valor usualmente anual de la producción de un sector determinado. El análisis de insumo producto suministra información sobre la unidad de valor de energía utilizada por los diferentes sectores de la economía con ayuda de la matriz de flujos energéticos, que permite contrastar los requerimientos de las principales fuentes energéticas por sector. Finalmente se encuentra el análisis de procesos implica tres etapas: (1) la identificación de la red de procesos asociados a un producto final; (2) análisis de cada proceso para identificar todos los insumos en la forma de materiales, equipos y energía y (3) asignación del contenido energético de cada insumo.

2.2 Mercados, Precios, Eficiencia y Energía

Para poder matizar los conceptos económicos con el funcionamiento de las industrias energéticas, se contrastan conceptos centrales económicos con el funcionamiento de este sector. Para esta tarea se parte en este apartado de la definición de lo que es la eficiencia desde un punto de vista microeconómico para luego analizar el significado del concepto en el sector energético. De igual forma, se explica brevemente la importancia de la agregación de variables macroeconómicas para analizar el impacto del sector energético en la economía. Para finalizar, se resumen los instrumentos de proyección y el alcance de estos para la elaboración análisis prospectivos y evaluación y elaboración de política energética.

2.2.1 Eficiencia en el Sector Energético

La *eficiencia* es un concepto central en este estudio, pues constituye el marco referencial para la elaboración de evaluaciones y sugerencias de política energética. En un sector como el sector energético en el que coexisten diferentes definiciones para un mismo concepto, adquiere particular importancia el poder aclarar este término en una forma que obedezca a su propósito⁵.

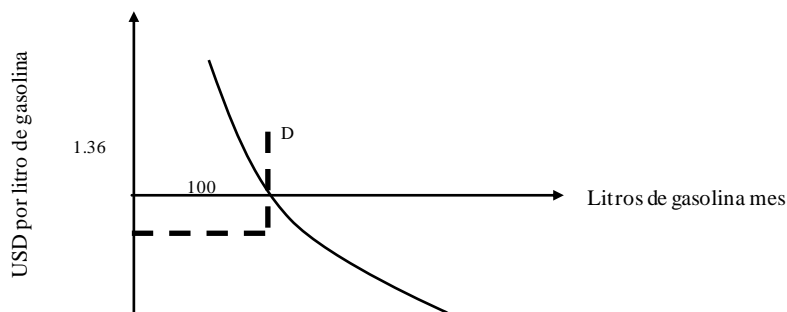
Dentro de la teoría microeconómica, el núcleo de la *eficiencia económica* yace en el comportamiento de los agentes maximizadores de beneficios. Se trata de una discusión sobre cuán cerca o cuán lejos se encuentra un mercado para alcanzar el máximo nivel de bienestar bajo condiciones de competencia perfecta.

En este escenario, una lectura del nivel de los precios otorga información sobre la valoración de los consumidores respecto a un bien en específico, y una aproximación de los costos incurridos por las empresas. Costos monetarios que comprenden los costos de producción para la sociedad.

Si los mercados energéticos funcionaran de forma competitiva, los consumidores operan como *tomadores de precios*, *i.e.* no ejercen ninguna influencia sobre el nivel de los precios. En la Ilustración No. 1 se ilustra la curva de demanda de un agente representativo por gasolina. Como se puede observar, a un nivel de 1.36\$ por litro de gasolina, este agente está dispuesto a consumir 100 litros mes. Esto también se puede entender como que la valoración del último litro de gasolina adquirido por el consumidor fue de 1.36\$.

⁵ Es menester la conceptualización del término de *eficiencia*, pues es particularmente en esta industria en la que coexisten las ciencias del saber de la ingeniería, la geología y la economía, cuando este término adquiere significados que en el extremo pueden resultar contradictorios.

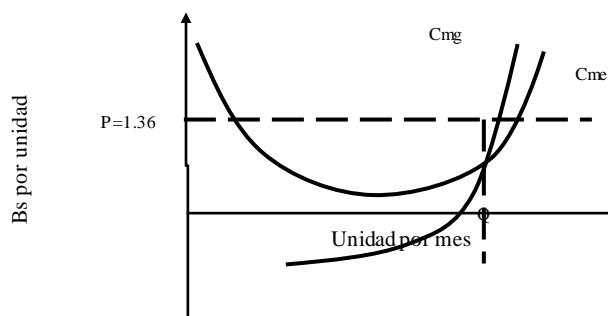
Ilustración No. 1
Curva de Demanda para un Consumidor Representativo



Fuente: Elaboración propia en base a en base a Spangar (1996), p.32

De forma similar, en este caso simple, se asume que las empresas son *tomadoras de precios*. Esto significa que las empresas no ejercen influencia sobre la fijación de los precios. En esta situación, cada empresa maximiza su beneficio produciendo en el nivel en el que el costo marginal es igual al nivel de precios. Esto implica que la curva de oferta de la firma es la curva de costo marginal, y por tanto, la oferta de la industria es la sumatoria de las curvas de oferta individuales. La Ilustración No.2 muestra el comportamiento de los costos para una empresa bajo condiciones de competencia perfecta.

Ilustración No. 2
Empresa Bajo Condiciones de Competencia Perfecta



Fuente: Elaboración propia en base a en base a Spangar (1996), p.34

Las condiciones de esta situación descrita no se cumplen en las industrias del sector energético. El nivel de los precios de las diferentes empresas se encuentra por encima de los costos marginales y, a pesar de la existencia de competencia entre los outputs de energía, es difícil describir a estas firmas como tomadoras de precios.

Un problema adicional es que, en ausencia de regulación, los costos percibidos por las firmas se encuentran por debajo de los costos de la producción que significan para la sociedad, *e.g.* contaminación o la contaminación de los ríos, entre otros. Si un litro de gasolina es vendido a 1\$ pero los costos de deterioro ambiental ocasionados durante el proceso se estiman en 10 centavos por litro, entonces el costo social de la producción de gasolina debería considerar el costo de la externalidad causada, sumando en total 1.10\$ por litro.

En la vida real, las industrias del sector energético se caracterizan por la presencia de imperfecciones de mercado que las alejan de las condiciones de maximización del nivel de bienestar, a saber: (1) la presencia de economías de escala en el rango relevante de

producción; (2) la existencia de externalidades que provocan un desfase entre los costos privados y los costos sociales; (3) largos periodos de tiempo requeridos para ajustar la producción al nuevo óptimo después de cambios en los precios relativos; (4) la presencia de bienes públicos; (5) el largo periodo de tiempo necesario para desarrollar nuevas fuentes energéticas; y (6) la incertidumbre presente durante y después del proceso de producción.

Es por este motivo que los pares de cantidades y precios de los outputs de energía no deben asumirse como puntos equilibrio en un sentido económicamente eficiente.

2.2.2 Índices en la Industria Energética

Mientras que el análisis microeconómico del sector energético se basa en el estudio de las desviaciones del nivel económicamente eficiente, el análisis macro busca relacionar el funcionamiento y desarrollo de este sector con el desempeño de la economía. Para esta tarea, este último hace uso de indicadores que permitan conocer el desempeño de la energía en los procesos productivos, para saber cuánto se consume y de qué manera. De acuerdo a la Guía ARPEL (2013) un buen indicador debe permitir identificar pautas reales de consumo y el potencial de ahorros, así como también planificar objetivos y ejecutar acciones para optimizar el uso de energía.

Al nivel de una economía se utiliza para esta tarea un indicador que relaciona el consumo energético en contenido calórico con el producto interno bruto PIB (como medida agregada de la actividad económica). Este ratio, conocido como Intensidad Energética IE, indica si es que el consumo de la energía es o no eficiente, ya que los términos de *intensidad* y *eficiencia* son inversamente proporcionales.

Con ayuda de este indicador se evalúa la administración de los recursos energéticos de una economía en relación a la productividad de la misma. Un aumento de la IE representa una disminución en la eficiencia del consumo de energía, mientras que la disminución de este índice refleja el incremento de la eficiencia del consumo de energía en una economía.

Una importante consideración que debe tomarse en cuenta es la limitación de este indicador. El principal problema yace en el proceso de agregación que es sumamente ambiguo, especialmente durante periodos de fuertes cambios económicos, al no capturar el comportamiento de los agentes frente a variaciones en los precios ni las variaciones en el bienestar de la sociedad.

Fiarse únicamente en este ratio para valorar el funcionamiento del sector puede ser perjudicial para la toma de decisiones, cuando no se consideran claramente los motivos de las variaciones de este ratio; *e.g.* la disminución del IE puede deberse a mejoras en la eficiencia energética, al aumento de la productividad de la economía y también a la existencia de procesos inflacionarios.

El análisis macroeconómico sugiere que la energía es un bien de consumo final, es decir que a medida que existe una relación directa entre el consumo de energía y el comportamiento de los ingresos. Esta relación es evidente en los niveles iniciales de desarrollo económico; sin embargo, en economías más industrializadas no parece existir ninguna relación aparente (U.S. Statical Abstract, 1994).

2.3 Proyecciones, Economía y Energía

Con la crisis del petróleo de los años setenta, surgió la necesidad de estimar el comportamiento de los precios a futuro y la disponibilidad, o ritmo de agotamiento, de los

recursos naturales. Desde entonces, las decisiones de inversión y de política son determinadas por los sucesos futuros que se estiman con ayuda de técnicas de proyección.

Para realizar esta tarea, existen métodos de modelaje, proyecciones y de elaboración de pronósticos o predicciones. Los primeros se definen como el conjunto de ecuaciones interrelacionadas que, de forma explícita, exponen los supuestos del estudio para analizar la variabilidad de relaciones en el futuro y evaluar la viabilidad de escenarios creados. Los modelos enfatizan la estructura de las relaciones, mientras que las proyecciones resaltan los supuestos subyacentes sobre las condiciones del análisis. En contraste, los pronósticos o predicciones no parten de modelos formales, sino de las opiniones de quienes realizan este trabajo.

En la práctica existen diferentes aproximaciones para realizar estos modelos. En este sentido, de acuerdo al nivel de agregación, se cuenta con modelos destinados a estimar el nivel de producción y de consumo a nivel agregado, y modelos sectoriales que tienen la capacidad de capturar con mayor detalle las características individuales de las industrias energéticas.

Al margen del nivel de agregación, los modelos energéticos se diferencian respecto al tratamiento de los supuestos. Frecuentemente estos modelos parten de la fuerte influencia de los precios relativos en las decisiones de consumo y de producción. No obstante, se puede adoptar un modelo en base a requerimientos fijos de energía, *i.e.* que la variación de precios relativos no tiene un impacto en el ratio de inputs de las empresas o del consumo de los hogares.

Al momento de realizar cualquier tipo de estimación del futuro, es importante conocer las limitaciones de las herramientas utilizadas. Para el caso de la modelación por ejemplo, al existir una amplia gama de modelos con características y alcances diferentes, se corre el riesgo de elegir un modelo que no sea adecuado para tratar un determinado problema. En cuanto a la elaboración de proyecciones, el mayor reto constituye la aproximación de tendencias inminentes para así considerar el tiempo *para el cual* este fue elaborado (Huntington, 1980).

Es conveniente tener en cuenta que en este sector los cambios en las preferencias del consumidor, la tecnología y principalmente el clima coyuntural no son estáticas, ni siquiera en el corto plazo. A largo plazo es necesario conocer y considerar dentro de las estimaciones el tiempo de ajuste de los mercados ante shocks y cambios estructurales. Para finalizar, se recomienda desarrollar cualquiera de estas tareas con el mayor detalle posible, al disminuir de esta forma las posibilidades de obtener resultados contradictorios.

3 TEORÍA de LA MINA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

Dentro de la industria energética se encuentran las empresas dedicadas a la exploración, explotación, procesamiento, transporte y distribución de recursos naturales no renovables utilizados para la generación de energía, que conforman la industria que se conoce como *industria extractiva o minera*.

Para comprender el funcionamiento de cada una de las empresas que forman parte de esta industria, se estudian en este apartado las características esenciales del sector. Para esta tarea, se parte de la definición de conceptos y de la teoría minera subyacente al estudio. Antes de comenzar es importante resaltar que, si bien la gran complejidad en la estructura de estas empresas hace que se alejen del marco estrictamente teórico, el desarrollo de la *teoría*

económica de la mina sirve como punto referencial para el contraste de cada empresa por separado.

3.1 Definiciones

La teoría económica de la mina es una de las áreas más intrigantes de la economía debido al nivel de incertidumbre que existe sobre la cantidad disponible de recursos, el tiempo de agotamiento de los mismos y la durabilidad de las inversiones mineras (Spangar, 1994 p.75). Antes de proceder con la formalización de esta teoría, se conceptualizan a continuación los términos que facilitarán su comprensión:

Reservas

Este concepto se refiere a los recursos minerales cuya existencia y locación son conocidas, y que pueden ser extraídos y comerciados bajo las condiciones de mercado. Las reservas pueden ser consideradas como parte del inventario de este tipo de industrias, y no así como indicadores de la disponibilidad total de los recursos.

En este punto es importante mencionar, que existen técnicas para el cálculo de la disponibilidad de recursos. Las tres principales técnicas de estimación son: (1) análisis volumétrico, (2) abundancia en la corteza terrestre y (3) estudios matemáticos o de comportamiento.

El primero de los métodos requiere la estimación de la cantidad del mineral por unidad en una determinada estructura geológica, y de la extensión de dicha estructura. La técnica de abundancia está basada en la estimación de la disponibilidad global de recursos a partir de la estimación de una muestra terrestre. Finalmente, la aproximación matemática centra su atención en el estudio de la historia de la explotación humana del recurso, desglosando los datos de producción a lo largo del tiempo para aproximar la curva de crecimiento del sector a partir del uso de específicas ecuaciones matemáticas.

La principal ventaja de esta última es el uso de información disponible a lo largo del tiempo. Sin embargo, al no considerar datos geológicos sino históricos de la suerte de exploración del pasado, estas bases de información carecen de solidez. La aproximación a partir de las técnicas matemáticas es útil para analizar la experiencia, pero no para determinar la cantidad de recursos disponibles, ni realizar análisis prospectivos del sector.

Calidad del Mineral

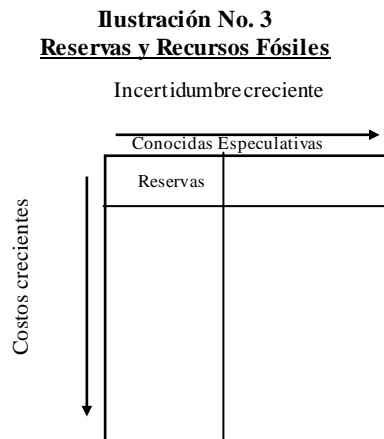
La calidad es la colección de una serie de características que pueden resumirse en los costos de extracción, de transporte, de uso, de la ley del mineral, maleabilidad durante el proceso técnico y del valor del mercado. Debido a la dificultad de medir este término se precisa el trabajo conjunto con expertos de la industria.

Este análisis está relacionado al concepto de costos de extracción, transporte y uso. Los costos son *recuperables* si es que la calidad del mineral es buena. Si frente a una caída de los precios, la actividad minera es rentable, los costos se definen como costos *paramarginales*; mientras que, si la calidad del mineral es pobre, los costos se conocen como *submarginales*. El conocimiento de la calidad, y por ende de los costos, determinan los flujos de inversión en el sector.

Incertidumbre

Es la característica inherente al proceso productivo del sector minero, al no existir la certeza de la disponibilidad total de recursos naturales, calidad de los minerales y en las fluctuaciones en los precios del mercado. En el próximo apartado, se estudiará esta característica para cada empresa del sector.

La relación que guardan estos tres conceptos puede ser análisis con ayuda de la Ilustración No. 3 en la que se observa un cuadro que representa los depósitos totales de un minera. La cual la flecha horizontal representa el grado de certidumbre respecto al conocimiento de la cantidad y calidad de la reserva, y la flecha vertical representa el nivel de costos en los que incurre la empresa.



Fuente: Elaboración propia en base a Spangar (1996), p. 66.

Como se puede observar, las reservas incluyen únicamente aquellos minerales que se encuentran en la esquina superior izquierda de la figura. Es decir, aquellos depósitos cuya existencia, locación y calidad son conocidas, y que pueden ser extraídos con beneficios para la empresa a los precios del mercado.

Tasa de Recuperación

Este es un indicador de eficiencia que muestra la cantidad de recurso mineral que puede ser extraído durante un periodo de tiempo sin dañar la formación terrestre.

Renta Económica

Se define como el remanente de la empresa después de cubrir los costos, incluyendo la compensación al dueño del terreno, los salarios, intereses del capital, regalías y obligaciones sociales.

La renta económica es una variable de interés para determinar la viabilidad de la explotación de un determinado depósito mineral. A medida que la calidad del depósito minero es mayor, y las reservas se encuentran en disposiciones geográficas accesibles, las probabilidades de contar con una renta económica aumentan. Es apropiado utilizar este término cuando los retornos de la firma son atribuidos a la superioridad de los depósitos

mineros. Una aproximación para cuantificar este concepto es la diferencia entre el precio de mercado del mineral y los costos de extracción, procesamiento y de transporte.

3.2 Teoría Económica de la Mina

La teoría económica de la mina se dedica al estudio del comportamiento de las industrias extractivas a partir de una teoría que combina los problemas de incertidumbre, agotamiento de los recursos de la mina, durabilidad de las inversiones, cambios tecnológicos y bienestar. El objeto central de esta teoría es el análisis de la elección óptima del momento de explotación y de venta de los recursos minerales. En otras palabras, se trata de responder *cuándo* se deben tomar las decisiones de explotación y de venta para la maximización de los beneficios del depósito minero.

Tabla No. 1
Ilustración Decisión de Venta de Empresas Mineras

Periodo de venta	t_0	t_1
Valor de la producción	\$60,000.00	\$80,000.00
Costos operativos	\$50,000.00	\$50,000.00
Ingreso Neto	\$10,000.00	\$30,000.00

Fuente: elaboración propia en base a Spangar (1996) p76.

La elección del momento más rentable para lanzar la producción al mercado es la cuestión más sencilla de resolver dentro de la teoría de la mina. Puesto que esta decisión depende de la estimación de la tasa de retorno esperada para la empresa dadas las expectativas del comportamiento de los precios. Si por ejemplo, la cotización esperada del barril del petróleo es mayor a la cotización presente, se postergará la venta del *commoditie*, a menos que la tasa de interés sea mayor a la tasa de retorno esperada.

En la Tabla No. 1 se ilustra este hecho. Partiendo de la abstracción de que los costos operativos de \$50 y el nivel de producción de 10,000 barriles día se mantiene constante en los periodos t_0 y t_1 , mientras que la cotización del barril de petróleo en el primer periodo es de \$47 y la cotización esperada en el siguiente periodo es de \$57. De acuerdo a la teoría de la mina, postergar la venta un periodo constituye la mejor decisión para el productor, dado que los ingresos netos pasan de \$10,000.00 a \$30,000.00.

En contraste, la elección del momento óptimo para iniciar el proceso de explotación constituye una tarea más compleja. El principal problema yace en la incertidumbre subyacente a esta decisión, la misma que no solo depende de las proyecciones del mercado a futuro, sino también del conocimiento geológico de los depósitos mineros (*i.e.* la calidad, cantidad y tiempo de agotamiento del mineral). Si estos valores fueran con certeza conocidos, entonces solo se trataría de una tarea financiera de valorar la rentabilidad de la inversión.

En la Tabla No.2 se presenta un ejemplo sobre el patrón de operación común de una empresa extractiva. Como se puede observar, no es sino hasta el tercer periodo cuando la empresa comienza a percibir ingresos por el concepto de ventas del mineral.

Otro aspecto que resalta es el comportamiento del flujo de inversión en el proceso de desarrollo del proyecto y explotación del mineral. A medida que pasan los años, la inversión total del proyecto aumenta debido al incremento en el costo de exploración y por los intereses del capital invertido. Como se aprecia, a partir del quinto año los gastos de desarrollo

comienzan a disminuir debido a la capacidad tecnológica que se encuentra instalada y en operación.

En la tercera fila se encuentra el flujo de caja de la empresa calculado por el método directo, *i.e.* sustrayendo de los ingresos en efectivo las salidas en efectivo. Tanto a lo largo de la fase de inversión, como durante el primer año de producción y venta, el saldo de este estado financiero es negativo.

La última fila corresponde a la acumulación de inversión. La inversión crece a $(1+i)$, donde i representa la tasa de interés de financiamiento, o bien la tasa de retorno de la mejor alternativa de inversión. Como se puede observar, la inversión acumulada de cada periodo se obtiene con la tasa de crecimiento de la inversión del periodo anterior menos el saldo del flujo de caja.

Tabla No.2

Acumulación de Inversión empresa extractiva (millones de dólares)

Año	1	2	3	4	5	6
Ingresos por ventas	0	0	0	1	4	5
Gastos proceso de explotación y desarrollo	1	3	6	10	2	0
Flujo de Caja	-1	-3	-6	-9	2	5
Inversión acumulada a 20% interés	1	4.2	11.04	22.25	24.7	24.64

Fuente: elaboración propia en base a Spangar (1996) p77.

De este simple ejemplo, se demuestran las características más importantes de las industrias mineras. En primer lugar, la decisión de inversión es las mismas que en toda industria en la que no se esperan ingresos sino hasta varios periodos después del inicio del proyecto. No obtener, un aspecto que diferencian a esta industria de las demás que puedan tener esta característica, es que esta decisión no solo se toma en base a la incertidumbre del comportamiento del mercado, sino también a la incertidumbre sobre las características del depósito minero. Una falla de cálculo sobre los costos de inversión, sobre la rentabilidad del depósito o sobre el comportamiento de los precios a futuro podría transformar el proyecto en un error financiero.

3.2.1 Regla de Elección Óptima del Proceso de Extracción

Para que el funcionamiento de este tipo de empresas sea rentable, estas buscan obtener una tasa de retorno lo suficientemente atractiva para evitar que el capital de inversión sea transferido a otras actividades similares. De forma similar, estas empresas esperan obtener beneficios que justifiquen los altos niveles de inversión, así como una *renta económica*. Este último retorno es particularmente importante para la toma de decisiones de las empresas mineras, motivo por el cual es objeto de especial estudio de esta sección.

Dentro de la literatura, la renta económica se define como el retorno adicional que reciben los factores de producción sobre el mínimo requerido para atraerlos a un determinado proceso o actividad (Spangar 1996, p. 79). En este sector, este concepto significa que los retornos que se encuentran por encima de los estimados por la empresa son atribuidos a las características particulares de los depósitos mineros. Por tanto, la renta es un factor determinante para la rentabilidad de una empresa que, a diferencia de los beneficios económicos, se deriva enteramente de las características naturales de la tierra.

De acuerdo a la teoría de la mina, el problema de la decisión de la explotación de un depósito se resuelve con este concepto. De hecho, la regla de esta teoría postula que: *la rentabilidad de las minas con mayores rentas económica será más alta si es que estas son explotadas de forma inmediata, mientras que se deberá esperar variaciones favorables en las condiciones de mercado para explotar los depósitos mineros de menores rentas económicas.* El supuesto en el que se basa la regla, para evitar desfases en el equilibrio intertemporales de la provisión del mineral, es que la renta económica crece a la tasa de retorno de la empresa, es decir:

$$R_1 = R_0 (1 + i) \quad (1)$$

Una alternativa para expresar esta regla consiste relocalizar la producción de la mina hasta que el valor presente de la renta por tonelada de mineral sea la misma en el tiempo, sin importar cuando esta es recibida. Para comprender este último punto cabe detenerse en el concepto mismo del valor presente, referido a la suma de dinero prevista a ser recibida en n periodos de tiempo descontado a una tasa i de interés, en términos generales:

$$\text{Valor Presente} = \text{Valor Futuro} / (1 + i)^n \quad (2)$$

Dado que la renta económica (R_j) por tonelada crece a la tasa de interés para que los mercados de mineral se encuentren en equilibrio, entonces el siguiente patrón prevalecerá:

$$\dots \quad R_0 = R_0 \frac{(1+i)}{(1+i)} = R_0 \frac{(1+i)^2}{(1+i)^2} = R_0 \frac{(1+i)^3}{(1+i)^3} = \dots \quad (3)$$

Esta relación se obtiene sustituyendo la expresión (2) para cada uno de los periodos de tiempo en la regla (1). Por ejemplo, para el primer periodo, siguiendo la relación de Valor Presente, se obtiene $R_1 = \frac{R_1}{(1+i)}$ con la que, al sustituirse en (1), se obtiene $R_1 = R_0 \frac{(1+i)}{(1+i)} = R_0$. Patrón que se repite para todo los periodos de tiempo y refleja que, el valor presente de la renta será el mismo en todo momento de tiempo, es decir será igual a R_0 .

A pesar de que esta teoría es sugestiva, no explica en la vida real el funcionamiento de las industrias extractivas. Se ha evidenciado que existe la tendencia de explotar depósitos con diferentes rentas económicas de forma simultánea, y que no existe la relación planteada entre el crecimiento de la tasa de retorno y la renta económica. Eso se explica por: (1) la incertidumbre inherente al proceso de producción que conlleva la toma de decisiones apresuradas sobre la tecnología utilizada; (2) imperfección en los derechos de propiedad; (3) presencia de economías de escala; (4) participación de diferentes grupos de interés en la toma de decisiones de la mina, que implica la distribución de la renta económica entre el gobierno, las empresas mineras y la mano de obra; y (5) los efectos de los cambios tecnológicos de la empresa, algunos de los puntos que serán tocados a continuación.

3.2.2 Incertidumbre y Valoración de las Reservas

En la vida real la toma de decisiones sobre la inversión en la explotación de un depósito minero depende en parte de la valoración de las reservas de mineral; característica imposible de conocer con exacta precisión. Para realizar esta tarea, al margen de la opinión de

especialistas contratados por las empresas mientras para realizar este tipo de cálculos, los agentes decisores basan sus valoraciones de las reservas tomando en cuenta diferentes factores.

Entre estos se encuentra la valoración basada en la suerte de recursos obtenidos por empresas mineras cercanas a los depósitos de interés y de otras que cuentan con las mismas características de terreno. Otro factor que influye en esta tarea depende de los costos y disponibilidad de capital que se incluyen dentro de la valoración presente de la firma de la siguiente manera:

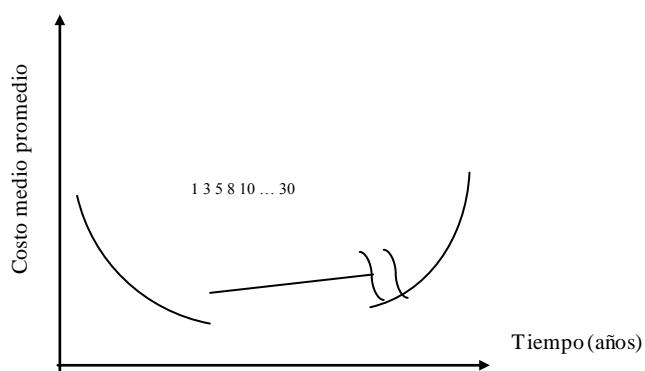
$$\text{Valor Presente} = \frac{G_0 - E_0}{(1+i)^0} + \frac{G_1 - E_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{G_t - E_t}{(1+i)^t} \quad (4)$$

Donde G_t representa el ingreso total en t , E_t los gastos totales incurrido durante el periodo e i es la tasa de interés a la que se descuentan los retorno futuros. La firma basara su elección de inversión en la explotación de un depósito minero en el Valor Presente de la firma que representa el máximo valor de los retornos netos que la firma está dispuesta a pagar.

3.2.3 Agotamiento de las Reservas

La principal característica que distingue a este tipo de industrias de las industrias manufactureras es la naturaleza agotable de los recursos mineros. Las implicaciones de este concepto son contrarias a la elección óptima que plantea la teoría de la mina debido a que tanto la elección de la planta y la cantidad de facilidades para la explotación dependen de las estimaciones previas. Para comprender este tema, es útil comenzar con la siguiente ilustración, en la que se resume el patrón de costos medios temporales en los que incurre una empresa minera.

Ilustración No. 4
Costos Medios de la Vida de una Empresa Minera



Fuente: Elaboración propia en base a Spangar (1996), p. 92.

Como se puede observar, este tipo de empresas incurren en altos costos iniciales que son el reflejo de los niveles de inversión necesarios para hacer operable una planta, los cuales paulatinamente decrecen con el tiempo. A medida que los minerales más accesibles son explotados, los procesos de excavación y de extracción, así como también el bombeo de agua a mayores profundidades, se hacen más costosos. Naturalmente, es posible que la

introducción de innovaciones en la tecnología e imprevistos geológicos favorables cambien esta tendencia, sin embargo es preciso tener en claro que el agotamiento de las reservas es inevitable.

En un mundo de competencia perfecta, de mercados perfectos y de reservas permanentes, las empresas extractivas basarían sus decisiones de explotación en el valor presente de su renta económica. Sin embargo, en la vida real los mercados no son perfectos, no solo existe uno o un grupo de tomadores de decisiones sino diversos sectores cuyos intereses en muchas ocasiones están contrapuestos, y los planes de explotación y expansión de estas empresas se encuentran restringidos por la naturaleza agotable de los minerales.

De acuerdo a la teoría de la mina, la regla de maximización de beneficios depende de la renta económica: a medida que esta se estima ser muy alta, su explotación debe postergarse en el tiempo, y viceversa para depósitos de menores niveles de renta. Esta regla sugiere que la producción de empresas de mayor tamaño, que incurren en costos mayores debe ser postergado hasta que las condiciones del mercado sean más favorables; dado que existe una relación entre los niveles de renta económica y el tamaño de las empresas mineras. No obstante, seguir esta premisa en la vida real no sería beneficioso para empresas de mayor capacidad que cuentan con un mayor número de mano de obra, de equipos pesados y de alta tecnología. De hecho, depósitos uniformes de mayor capacidad son en la práctica más rentables de explotar que pequeños centros mineros de mayor calidad, dado que los primeros permiten el uso de alta tecnología que hace que el proceso de producción sea más rentable.

Otra gran debilidad de esta teoría yace en que ignora las diferentes oportunidades, necesidades y capacidades de las empresas mineras. Si por ejemplo, vetas de baja calidad son las únicas posibles de aprovechar para una firma, estas serán explotadas inmediatamente para mantener en funcionamiento a la empresa, aun cuando la postergación de su explotación prometiera mayores beneficios.

3.3 Las Industrias Extractivas

En este apartado se identifican las principales características de las industrias extractivas, las mismas que serán contrastadas con la teoría de la mina. La principal conclusión a la que se llega a partir de esta comparación es que las decisiones tomadas en cada una de las industrias dependen de factores que no son capturados por la teoría, motivo por el cual estas se desvían de sus principales postulados.

3.3.1 La Industria del Carbón

El carbón es un mineral empleado desde hace más de 3.000 años en la producción de energía de uso doméstico y fundiciones. Su uso masivo para la industrialización y el transporte se originó con la Revolución Industrial en el siglo XVIII, siendo hasta la segunda década del siglo XX la principal fuente energética a nivel mundial.

Con la introducción del petróleo y el gas natural, la importancia relativa de la industria del carbón comienza a disminuir a finales de 1920. De igual forma, la eficiencia relativa de la utilización de este mineral para la generación eléctrica entre en declive, provocando como efecto neto el estancamiento de la industria.

A partir de la crisis del petróleo el año 1973 el carbón cobra de nuevo interés, revirtiendo la tendencia decreciente registrada hasta el momento. Esto debido a la necesidad

de sustituir progresivamente el petróleo con un mineral abundante y de bajo costo de explotación.

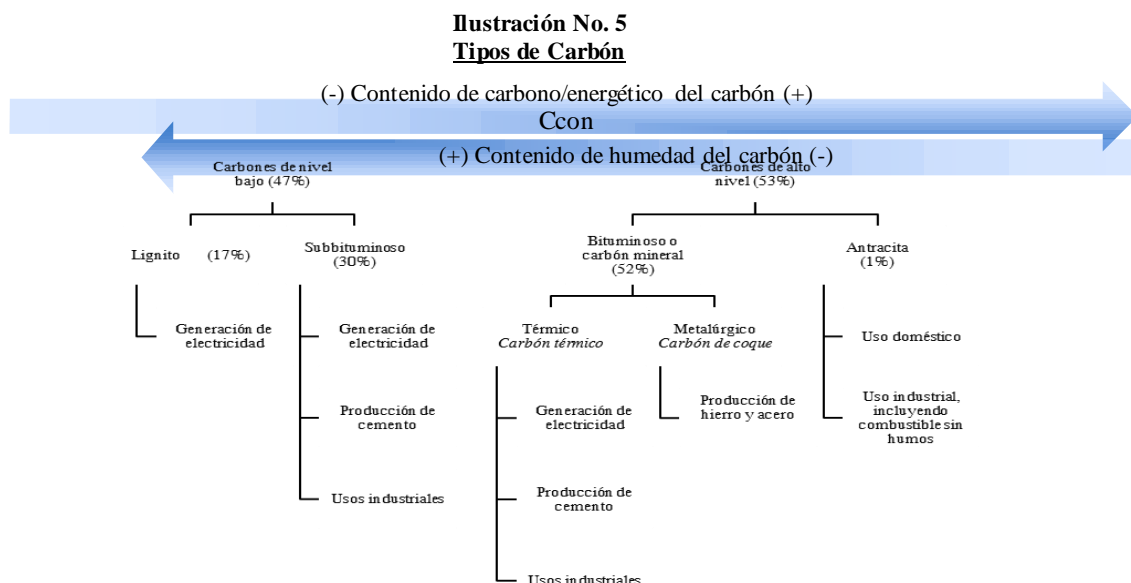
3.3.1.1 Características de la Industria del Carbón

El carbón es un combustible fósil que se encuentra en vetas de más de 15 metros de espesor, que fueron formadas durante el periodo carbonífero hace más de 360 millones de años. La calidad de cada depósito de carbón se determina por la temperatura y presión a las que fue sometido el material vegetal durante el proceso de la formación de la turba.

Inicialmente, por efecto de cambios físicos y químicos en la vegetación, la turba se convierte en lignito, conocido también como carbón blando o carbón marrón de bajo poder calorífico. Por efecto de los cambios continuados en la temperatura y la humedad, la madurez orgánica del lignito aumenta, transformándolo en carbón subbituminoso. Ambos carbones se caracterizan por niveles de humedad altos, bajo contenido en carbono *i.e.* contenido energético bajo, y por encontrarse en capas regulares de terreno.

Los carbones bituminosos o carbones minerales se originan a partir de las transformaciones que sufre el mineral en su estado subbituminoso. El tipo de carbón bituminoso más conocido es la hulla, que se encuentra en terrenos regulares cercanos a cuencas de agua. Finalmente, bajo condiciones adecuadas, el aumento progresivo de la madurez orgánica permite la formación de la antracita, también conocido como carbón viejo o carbón duro. Este último carbón se encuentra en el rango superior de categorías de carbón, al contar con el mayor contenido de carbono y energía, y un nivel menor de humedad. No obstante, su obtención significa un proceso mucho más complejo de explotación, por su formación en capas accidentadas de terreno.

Como se puede observar en la Ilustración No.3, el contenido de carbono y de humedad determinan el uso del mineral. En el diagrama se observan el porcentaje de reservas mundiales asociado a cada tipo de carbón calculado por el Instituto Mundial del Carbón (2009).



Fuente: elaboración propia en base de El carbón como recurso IMC(2009), p4.

En la industria del carbón esta consta de los procesos de extracción, transformación y transporte del mineral. La primera etapa puede ser realizada a partir de los métodos de minería subterránea y de minería superficial o a “*cielo abierto*”. La selección del método de extracción depende de la estructura geología del depósito carbonífero y de la restricción presupuestaria de la empresa.

La industria del carbón nace con la minería subterránea y el uso de tecnología rudimentaria, *i.e.* Explosivos convencionales manualmente activados y perforadoras de corto alcance. No obstante, durante el siglo veinte fueron introducidas nuevas técnicas e innovaciones tecnológicas que aumentaron la capacidad productiva de las minas, y que hoy en día constituyen los cimientos del continuo desarrollo del sector.

En la actualidad existen dos métodos de extracción, cuya selección depende criterios geológicos y económicos: el método de explotación mediante pilares y por tajos largos. La principal ventaja de la extracción mediante pilares es que permite el inicio de la producción de carbón de forma más rápida y con maquinaria móvil de un coste menor al del método por tajos.

La extracción a cielo abierto, resulta únicamente rentable cuando la veta de carbón se encuentra cerca de la superficie. Este método permite recuperar una mayor proporción del yacimiento del carbón que la el método de minería subterránea, al trabajar de forma horizontal todas las vetas de carbón. En los procesos de extracción a cielo abierto los costos incurridos son menores a los de explotación subterránea debido a que esta técnica permite aprovechar la veta de minera en toda extensión y profundidad de la mina, facilitándole el manejo de maquinarias de alto tonelaje, y la disminución de la mano de obra utilizada.

Una vez extraído el carbón, se trata el mineral para mejorar su calidad, reduciendo su contenido en materia no combustible o de sustancias como los sulfuros de hierro que pueden dar problemas en su combustión. Este proceso se realiza en lavaderos de carbón, también conocidas como plantas de tratamiento del carbón.

Algunas industrias del carbón procuran el aprovechamiento del carbón de poco contenido mineral, conocido también como carbón estéril. La utilización de los estériles sirve como sustratos para cultivos de suelos, el relleno de tierra armada y como el firme de carreteras.

El método de transporte del carbón depende de la distancia a ser recorrida. En la actualidad se cuenta con cintas transportadoras o camiones para distancias cortas. Para mayores distancias, se utilizan trenes o barcos. También es posible mezclar el carbón con agua para formar un fango de carbón que puede ser transportado a través de conductos.

3.3.1.2 Estructura de Mercado

A pesar de la existencia de un gran número de empresas en la industria⁶, esta es considerada como una poco competitiva. Los argumentos que defienden este punto giran en torno de: (1) los altos costos de transporte; (2) los altos niveles de concentración de yacimientos de alta calidad por pocos oferente⁷; y (3) los altos costos no monetarios que no son capturados con precisión, es decir, externalidades durante el proceso de producción.

⁶ Solo en Estados Unidos para 1989 existían 2,821 minas, dato que puede ser encontrado en los Datos de los depts. de Energía e Información y Administración Energética de EEUU *Coal Production and Annual Energy Review* y *Performance Profiles of Major Energy Producers* respectivamente.

⁷ Por ejemplo, en países como EEUU las más grandes empresas de la industria son dueñas de las pequeñas minas. En realidad, en este país se estima que tres cuartos de la producción de carbón le corresponde a tan solo 50 firmas. En este

Los altos costos de transporte pueden significar una barrera para la entrada a la industria. De acuerdo al Instituto Mundial del Carbón, el coste de transporte de este combustible orgánico, dependiendo de la distancia de los centros de producción y consumo, puede alcanzar el 70% del costo total de producción.

Respecto al segundo punto, para Spangar el número de empresas que participan en la industria del carbón no es una señal para determinar su grado de competitividad. De hecho, a partir de los datos calculados por *The Keystone Coal Industry Manual* (1995) para Estados Unidos, 50 de más de 1.000 empresas mineras pasaron de concentrar el 45.2% de la producción en 1950, a tres cuartos de la producción en 1993.

No obstante, la mayor preocupación de esa industria yace en la mayor concentración de las reservas que de la producción misma del mineral. Durante la década de 1970, las empresas más grandes de petróleo a nivel mundial comienzan diversificar activamente su producción en otras fuentes de energía, entre ellas el carbón, amenazando la competencia inter-combustible.

En cuanto el tercer punto se puede afirmar que, en la ausencia de regulación, la industria del carbón implica externalidades para el medio ambiente. No obstante, no todas las actividades de producción y de consumo que implican un costo para terceros significa motivo de intervención de un agente regulador. Una buena planificación y gestión medioambiental minimiza el impacto de la minería en el medio ambiente.

La extracción de carbón, especialmente la de cielo abierto, tiene un impacto serio sobre la estabilidad del medio ambiente. Entre las alteraciones del entorno asociadas a la producción del carbón se encuentra la erosión de los suelos, la polución del agua por el drenaje de ácidos de la mina, el polvo y la contaminación acústica, el deterioro de zonas de cultivo y la generación de metano procedente de la explotación del carbón.

El consumo de energía provoca diferentes problemas medioambientales. En el caso del carbón, su combustión en centrales eléctricas y a nivel industrial significa la liberación de óxido de azufre, nitrógeno, mercurio y dióxido de carbono. A pesar de que el uso de los derivados del petróleo en sector del transporte constituye la principal fuente de emisiones antropogénicas, la combustión del carbón contribuye significativamente al calentamiento global.

Otro de los problemas altamente discutidos por hacedores de políticas de países especializados en la industria, yace en la externalidad de la producción de este mineral en la salud e integridad de los obreros. Es por este motivo que el proceso de producción de carbón está acompañado de normativas de regulación salarial diseñadas para compensar los altos niveles de riesgo a los que los obreros de este sector se ven expuestos. Algunos mecanismos de compensación serán estudiados en capítulo pertinente al tema de externalidades.

Si bien es indiscutible que la estructura de mercado de la industria del carbón se aleja del modelo de texto de competencia perfecta, para autores como J. Trueby y M. Paulus (2010), el precio del carbón normalmente ha reflejado el costo marginal de producción de largo plazo, característica de una industria competitiva. Al respecto, de acuerdo D. Salinas y C. Muñoz de la revista virtual de energía *Breves de Energía*, los precios del carbón se mantuvieron por encima del nivel *breakeven* de entre \$30 y \$ 80 por tonelada, aún a pesar de la caída de los precios experimentada entre los años 2012 y 2013, cuando los precios alcanzaron los \$83 en Europa, \$112 en Chile y \$143 por tonelada en Japón.

país, sin embargo, la mayor preocupación no yace en los niveles de concentración per se, sino más bien de un suceso que viene ocurriendo desde 1970: el paulatino control de la producción del carbón por empresas petrolíferas.

3.3.1.3 Perspectivas de la Industria del Carbón

A partir de la segunda Guerra Mundial la tendencia creciente de la producción del carbón en el siglo XX, tras el declive de la importancia relativa del carbón con el surgimiento de la industria del petróleo y del gas natural en la década de los veinte. Se atribuye la resurgimiento de esta industria al desarrollo tecnológico del momento que permitió la explotación más eficiente y a un menor costo de los depósitos de carbón.

Irónicamente, durante la década de los setenta, cuando la industria comenzó a atraer particular atención por su crecimiento y perspectivas a futuro, más aún con la crisis del petróleo, la producción experimentó un declive veloz. Entre 1969 y 1978 por ejemplo, la producción por trabajador día disminuyó de 15.6 toneladas a 8.4 toneladas.

La teoría de la mina sugiere que la disminución de la producción de carbón es una consecuencia directa de la disminución de las reservas del mineral. Esto debido a que el comportamiento maximizado de la empresa minera, implica el aprovechamiento en primera instancia de los recursos de mejor calidad. Siguiendo este análisis, se esperaría que, mientras la calidad de los depósitos disminuya más rápido que avances tecnológicos para la explotación del mineral, la producción por trabajador disminuirá.

No obstante, realizando un análisis de las condiciones geológicas y el desarrollo tecnológico, se puede constatar que la teoría de la mina no proporciona una respuesta acertada a lo sucedido durante este periodo. Con ayuda de un estudio histórico más riguroso, se puede observar que fueron cambios en variables ignoradas por la teoría, que ayudan a comprender la tendencia decreciente de la producción del carbón. Específicamente, el aumento de las rigurosidades de regulaciones ambientales, que significaron altos costos para las empresas mineras, la entrada en vigencia de leyes estrictas para velar por la salud e integridad de la mano de obra y, en algunos países del mundo, la formación de sindicatos.

De acuerdo al resumen ejecutivo del World Energy Outlook, al estar el crecimiento de la demanda del carbón determinado por la rigurosidad de las políticas de regulación medio ambiental, se espera que entre el 2012 y 2040, la demanda crezca en un promedio de 0.5 pp. Se espera que dos tercios de este incremento tendrá lugar en los siguientes diez años. La perspectiva del carbón varía de acuerdo a la región. Mientras que en los países de la OCDE y China se espera que la demanda de este recurso energético disminuya en más de un tercio entre este periodo, en la India se espera que su demanda aumente rápidamente.

En cuanto a la producción de carbón, se espera que al 2040, la participación de China, India, Indonesia y Australia alcance el 70% de la producción mundial. No obstante, debido al aumento de los costos de producción, la perspectiva de los precios de importación para los países miembros de la OCDE se mueven en este periodo desde el promedio bajo de \$86 por tonelada el 2013, a \$110 por tonelada el 2040.

3.3.2 La Industria del Petróleo

El petróleo es un recurso fósil no renovable, cuya utilidad para el hombre deriva de la serie de productos químicos y del combustible que es producido a partir de este. A partir de la explotación del primer pozo petrolífero el año 1859 en Titusville, Pensilvania, este recurso se ha convertido en la principal fuente de energía a nivel mundial. No obstante, no fue sino hasta la crisis del petróleo, que el rol de esta industria en la economía se convirtió en el foco de atención a nivel mundial.

3.3.2.1 Características de la Industria del Petróleo

La industria de petróleo está constituida por tres procesos: *Upstream*, que se conoce como el sector de exploración, explotación y prospección; *Midstream*, que incluye los procesos de transporte y almacenamiento, procesamiento y comercialización; y *Downstream*, referido a las tareas de refinamiento, venta y distribución de los productos derivados de petróleo. Las diferencias que existen entre estos niveles, determinan su estructura de costos, cualidades de interés que serán brevemente explicadas a continuación.

El proceso de exploración se refiere a las técnicas destinadas a cuantificar las reservas probadas y probables de petróleo. Hoy en día, las técnicas utilizadas para ésta tarea consisten en fotografías satelitales para la elaboración de mapas geológicos, muestras de la superficie terrestre y procesos sísmicos. Este último, se refiere a la generación de explosiones subterráneas que son capturadas por ondas sísmicas mediante geófonos diseñados para enviar esa información a equipos que dibujan el interior de los pozos, hecho que ayuda a elaborar prospecciones sobre las reservas de petróleo.

El aprovechamiento del yacimiento, consta de las actividades de perforación y bombeo. El proceso de perforación, consiste en el desarrollo de técnicas de perforación que sirven para verificar la existencia de petróleo y crear los conductos para dar lugar al proceso de extracción de petróleo. Entre los métodos utilizados para esta tarea se encuentran los de percusión y rotación. El primero se utiliza cuando los pozos se encuentran a poca profundidad y por debajo de superficies rocosas; mientras que el método de rotación se emplea a profundidades mayores a los 900 metros. El bombeo, consiste en extraer el petróleo del yacimiento que se logra con ayuda de la presión interna, y métodos de inyección de agua o vapor para forzar el ascenso del petróleo. Dentro de la etapa *Midstream*, se encuentra el transporte del crudo. Una vez que el petróleo se encuentra en la superficie terrestre, se procede a transportarlo vía marítima o terrestre, a través de buques cisterna, ferrocarriles u oleoductos.

El almacenamiento puede ser de dos tipos: almacenamiento de crudo o almacenamiento de refinera. El crudo, conocido también como petróleo bruto, se almacena tanto en el punto de embarque como de desembarque. La capacidad de este almacenamiento contiene como media un stock de crudo de cinco días. Las refineras también disponen de depósitos tanto al comienzo como al final de cada unidad de proceso.

En la etapa de refinamiento se procesa el petróleo en combustibles, sustancias químicas y otros derivados. Las innovaciones en este proceso se atribuyen a las técnicas de refinamiento introducidas en 1913 por Burton que permitieron aumentar la calidad del output de las refineras y disminuyeron los costos de producción del sector.

3.3.2.2 La Industria del Petróleo y la Teoría de la Mina

Tres características de la industria del petróleo, demuestran la inconsistencia de esta con la teoría de la mina: (1) la existencia de recursos fugitivos, (2) la incertidumbre y (3) la tenencia incierta.

Recursos Fugitivos

La existencia de recursos fugitivos ilustra un problema fácil de describir, pero difícil de resolver en la práctica (Spangar 1996, p. 134). Los depósitos de petróleo, al igual que las vertientes de agua, fluyen en dirección de la presión externa ejercida para su explotación.

Esto significa que, si un yacimiento de petróleo está compartido por dos o más empresas y una de estas comienza antes que las demás con el proceso de explotación del recurso, entonces influirá en que los flujos de este recurso se dirijan hacia su pozo, perjudicando al resto de las empresas.

En presencia de este problema, la teoría de la mina no es efectiva para explicar el comportamiento de los dueños de las empresas petroleras. En otras palabras, la temporalidad de explotación óptima postulada por la teoría de la mina se distorsiona, dado que las decisiones asumidas por cada empresa petrolera serán de carácter no cooperativo. Esto significa que, si las empresas A, B y C comparten un mismo yacimiento petrolífero, entonces cada una (y de acuerdo a sus posibilidades), buscará acelerar la explotación de sus pozos.

El aumento de la tasa de extracción no solo disminuye las tasas de recuperación de los depósitos de petróleo, sino también aumentan de forma excesiva los costos de inversión en el desarrollo de nuevos pozos.

Entre los motivos por los que la tasa de recuperación disminuye se encuentran: (1) la negativa de hacer uso de técnicas para mantener la presión de los pozos y (2) altos costos operativos.

El primer punto se explica por la decisión de las empresas de no implementar las técnicas necesarias para mantener la presión y otras características óptimas del yacimiento, dado que el hacerlo sería mejorar la capacidad productiva de la competencia. El segundo punto se refleja en los altos niveles de inversión que significa la adquisición de maquinaria, equipo y las extensiones de la empresa, haciendo prohibitivamente costoso la inversión en estos ante un plano temporal corto.

Ante este problema, en países como Estados Unidos, se han diseñado mecanismos para buscar una solución al conflicto de derechos de propiedad. Entre estos se encuentran: (1) regulación de la cantidad máxima de petróleo extraída por día de los pozos compartidos, (2) el establecimiento de la distancia mínima de pozo a pozo y (3) la negociación de compra o venta de pozos.

Incertidumbre

Aun cuando la teoría de la mina sugiere que los depósitos de mayor renta económica deben explotarse primero, la incertidumbre en cuanto a la existencia de reserva y los costos de explotación, influyen en que en esta industria esta decisión siga otro patrón.

Este patrón no es enteramente aleatorio, pues la decisión es tomada en coordinación con especialistas en la materia que pueden determinar si el desarrollo y explotación de una determinada área es demasiado costosa. Si este fuera el caso, la justificación de la exploración del terreno dependerá del nivel de precios del mercado.

En el otro extremo, es posible que nuevos descubrimientos de depósitos resulten menos costosos que otros en operación. En este caso, y si el descubrimiento es pequeño en relación al mercado, el nivel de producción vendida no tendrá un impacto sobre el nivel de precios internacionales. El único efecto, será el aumento de la renta económica de la empresa petrolera, que alentará la exploración de depósitos adicionales en el sector.

Tenencia Incierta

El temor a la expropiación constituye una de las imperfecciones de esta industria que la alejan del postulado de la mina respecto a la mejor estrategia para explotar un recurso y

lanzarlo al mercado. Consecuentemente, la decisión de las empresas petroleras será similar a la asumida en presencia de recursos fugitivos, *i.e.* la acelerada explotación de los recursos mientras cuenten con el derecho de hacerlo. A lo largo de la historia este temor se ha explicado principalmente por la inestabilidad política, amenazas de nacionalizaciones.

En conclusión, los postulados de la teoría de la mina son incongruentes con una industria caracterizada por las imperfecciones de derechos de propiedad, e incertidumbre sobre el nivel de los precios y la rentabilidad de las exploraciones de petróleo. Caramente, mientras exista incertidumbre sobre la estabilidad coyuntural o existan recursos fugitivos, la explotación con toda la capacidad de producción será la decisión tomada por las empresas. En contraste, la incertidumbre en cuanto al futuro de los precios o los resultados de la inversión en exploraciones podrá o bien retrasar o acelerar la producción.

3.3.2.3 La Organización de Países Exportadores de Petróleo

La Organización de Países Exportadores de Petróleo se formó en 1960. Pero no fue centro de atención sino hasta 1973, cuando los países miembros decidieron coludir disminuyendo sus niveles de producción de petróleo y aumentar así el nivel de precios.

Esta decisión fue posible gracias a la presencia de *condiciones únicas*, que otorgaron a los países miembros de la organización esa posición privilegiada de la que gozaron hasta finales de la década, a saber: (1) los bajos costos de explotación del petróleo en Medio Oriente; (2) las expectativas a la baja de los precios y el aumento de los precios de otras formas de combustible; (3) el aumento de la dependencia de Estados Unidos por las importaciones de petróleo; y finalmente (4) el incremento de la demanda a nivel mundial de los derivados del petróleo.

Dentro de la teoría económica, se define la decisión de colusión como una conducta estratégica que parte del criterio económico de la maximización de beneficios. No obstante, existiendo intereses diferentes, que por lo general buscan la maximización propia del bienestar y no así del conjunto, se espera que esta estructura no sea lo suficientemente sólida como para mantenerse de pie durante mucho tiempo. En otras palabras, la conducta de engañar emerge como una alternativa atractiva para contar con una mayor participación del mercado.

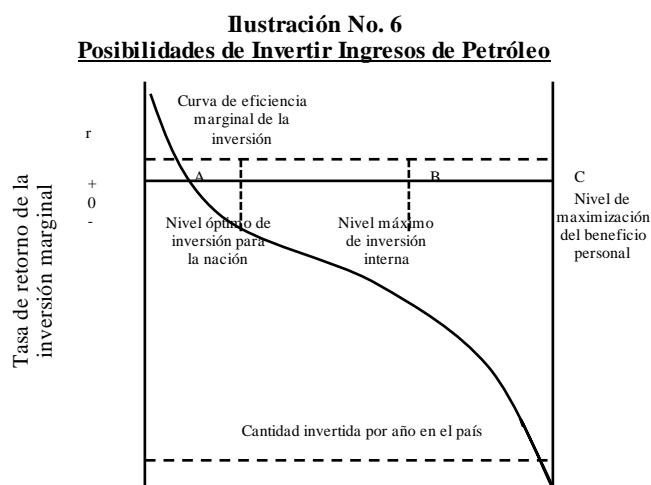
Es por este motivo que cuando en 1970 los precios por barril de petróleo pasaron de \$1.40 a \$8, las apuestas de muchos economistas apuntaron al quiebre de la estructura del cártel. Sin embargo, durante la primera mitad de dicho año, el comportamiento de la OPEP se alejó de las proyecciones de expertos.

Los factores económicos que diferenciaron a la OPEP de los cárteles de empresas manufactureras estándar se resumen en los siguientes cuatro puntos: (1) la naturaleza no renovable del petróleo, (2) capacidad absorbente limitada, (3) las reducciones de producción provocadas por factores exógenos y (4) la falta de una oposición inmediata por las grandes economías. A continuación se explican brevemente estos puntos.

Quizás el hecho de que las reservas son limitadas fue el incentivo de los países que poseen más del 50% de las reservas mundiales a restringir su output. A diferencia de las empresas manufactureras, en las empresas dedicadas a la explotación de recursos finitos juega un rol fundamental para la toma de decisiones el análisis del valor descontado de la renta económica no recibida en el futuro. Al mismo tiempo, este factor sirve para explicar el debilitamiento mismo del cártel, dado que las diferentes dotaciones de las naciones influyeron en el aumento de la tensión dentro de la OPEP.

El segundo aspecto que nos permite comprender la decisión durante y después de la colusión de estos países, es la capacidad de absorber los ingresos de la venta del petróleo en la inversión interna. De hecho, a partir del análisis de este factor es posible responder la cuestión sobre la tasa óptima de explotación del petróleo.

Este concepto puede comprenderse a partir una curva de la eficiencia marginal de la inversión (EMI) que se encuentra ilustrado a continuación. Dentro de la teoría económica, todos los puntos que se encuentran sobre la curva muestran la mayor tasa de retorno que puede obtener una empresa con la inversión del último dólar. Como se puede observar, la pendiente de esta curva es negativa debido a que las posibilidades de inversión son ordenadas desde el mejor proyecto remunerado, hasta la peor decisión de inversión. La decisión racional de inversión se encuentra en el punto en el cual el retorno de proyecto es igual a la tasa de interés del mercado.



Fuente: Elaboración propia en base a Spangar (1996), p 146.

En el caso de un país, el concepto de capacidad absorbente es similar. La única diferencia es que la restricción a la que se somete la inversión de una economía es más diversa. No solo es la limitada capacidad administrativa para poder ejecutar los proyectos de inversión el factor que explica la tendencia decreciente de la tasa del retorno marginal sobre la inversión, sino también la escases de factores de producción (*e.g.* mano de obra calificada, materia prima no disponible, restricciones en la infraestructura entre otros).

De acuerdo a esta teoría, y partiendo del supuesto de que el agente decisor busca maximizar el retorno de la inversión de la economía y no su mismo bienestar, entonces la decisión óptima de inversión por el alto nivel de ingresos de la industria petrolífera será destinar los recursos a la construcción de infraestructura hasta que la tasa marginal de eficiencia en la inversión se iguale a la tasa de interés doméstica. Una vez alcanzado este punto de maximización del crecimiento de la riqueza nacional, el flujo de ingresos por concepto de la venta de petróleo puede ser destinado al extranjero. Ya sea por concepto de inversión extranjera directa o por la compra de instrumentos financieros.

Mientras que se cuente con retornos positivos para la inversión interna de los recursos, es posible desviarse del punto A en el que se maximiza la decisión de inversión doméstica y extranjera de un país. De esta manera, la cantidad invertida por la economía en un año alcanzaría el punto B en el que se alcanza el crecimiento máximo de la riqueza doméstica. A partir de este punto, toda inversión interna adicional resultará en retornos negativos.

Desafortunadamente, puede existir un conflicto entre los intereses de la nación en conjunto y el agente decisor del destino de la inversión. En este caso los recursos obtenidos por la actividad serán desviados al bolsillo de este agente, y no así a proyectos para maximizar el bienestar nacional. En consecuencia de esta mala administración de los recursos, la misma industria petrolera se verá perjudicada, provocando en el caso extremo la disminución de la producción del petróleo. En la práctica se le atribuye a la disminución de la producción de Irán y de Libia a este tipo de conflicto de intereses.

En cuanto al tercer factor al que se enfrentó este cártel, fue la alta concentración de la participación de la exportación de petróleo en pocos países, y el poder de las decisiones tomadas por estas economías. Ello en consecuencia a la revolución interna de Irán, el conflicto Irán-Iraquí y la invasión de Kuwait por parte de Iraq, que dejaron los principales yacimientos en manos de los países que tomaron la decisión de embargar las exportaciones de petróleo a los países que intervinieron durante la guerra del Yom Kipur⁸.

Al margen de la presión internacional por frenar el embargo, fueron los factores del monopolio interno de la toma de decisiones, el conflicto de intereses por parte de países con diferentes niveles de recursos de petróleo y al aumento del malestar social por el destino de los ingresos del petróleo, que llevaron a la insostenibilidad del embargo, cuyo fin fue anunciada por los países árabes en marzo de 1974.

No obstante, el final de la conducta asumida por estos países, no evitó sus consecuencias a nivel internacional, *e.g.* tasas de crecimiento reducidas y el incremento de la inflación y desempleo, entre otras. Estos efectos se sintieron hasta principios de los ochenta, cuando el precio del petróleo disminuyó en cerca del 70%.

3.3.2.4 Perspectivas de la Industria del Petróleo

Los embargos de petróleo se han quedado en el pasado, debido al descubrimiento de grandes cantidades de petróleo, al desarrollo de nuevas técnicas (como la fractura hidráulica) para aumentar extracción de petróleo del subsuelo, y al aprendizaje en materia de seguridad energética obtenido a nivel internacional tras el aumento de los precios del petróleo en 1970. No obstante, aún hoy se evidencia la fuerte vulnerabilidad de las economías importadoras y exportadoras ante variaciones de los precios de los hidrocarburos; al mismo tiempo que la volatilidad de estos no solo se halla determinada por factores de oferta, sino también por el panorama económico, político y ambiental.

De acuerdo a Pichs R. Del Centro de investigaciones de la Economía Mundial de La Habana, durante el periodo de los altos precios del petróleo comprendido entre los años de 1973 y 1985, la participación del petróleo en el balance mundial de energía se redujo de 48 a 39 pp, aumentado al mismo tiempo la participación de otras fuentes de energía. Es interesante señalar que durante este periodo, el aumento de los precios del petróleo estuvo asociado sucesos geopolíticos importantes. Como se vio anteriormente, la crisis del petróleo fue el resultado de la decisión de la Organización de Países Exportadores de Petróleo de restringir la exportación a países que durante la guerra del Yom Kipur, apoyaron a Israel. Seis años después, se produjo la segunda crisis del petróleo de la década, nuevamente a raíz de conflictos en medio oriente.

⁸ El embargo que oficialmente comenzó en octubre de 1973, consistió en el recorte de 5% mensual de producción dirigida a los países que intervinieron en contra de los intereses de los productores árabes durante la Guerra de Yom Kippur.

Entre los años de 1985 y 2000, los precios del petróleo se caracterizaron por una tendencia relativamente estable y moderada. Durante este periodo la proporción del consumo de petróleo aumentó solo en países en vías de desarrollo de 35 a 40pp.

La situación petrolera de los años transcurridos a partir del inicio del presente siglo, se ha visto determinada por factores políticos y económicos. Sobre todo a partir de marzo del 2004, cuando factores como la inestabilidad en Irak; la rigidez de la oferta petrolera como expresión de las limitaciones productivas de la OPEP y de los problemas de infraestructura de refinación; los atentados en Madrid y la demanda creciente de países emergentes como China e India, entre otros factores, dispararon los precios del crudo a un nivel máximo en su momento de 30 dólares.

A partir de este punto, y hasta julio de 2008, se registró la mayor fluctuación de petróleo de la historia acompañada de un alta volatilidad en los mercados financieros. En este año el crudo comenzó el año tacando los 100 dólares por primera vez en la historia, trepando en julio a un máximo de 147.25 dólares el Brent y 146.90 dólares el WTI. No obstante esta tendencia no duro más que hasta finales del 2008, cuando el petróleo se desplomó en un 54% alcanzando el mínimo del año de 32 dólares por barril (R. Paul, 2015).

Entre los diferentes argumentos utilizados para explicar la tendencia creciente de los precios, particularmente durante el 2007-2008, se encuentra la formación de una burbuja especulativa que explotó junto al sistema financiero a nivel mundial tras la declaración de quiebra de la Lehman Brothers y el inicio de la crisis financiera global.

La caída de los precios del petróleo a partir de julio del 2014 resulta de la confluencia de una serie de factores económicos y políticos. De acuerdo al economista en jefe para América de Sur de BBVA Research Juan Ruíz, entre dos tercios y tres cuartos de la caída se explica por factores de oferta. Es decir, alza de la producción de países como Libia, donde las tensiones geopolíticas anticipaban una oferta moderada, el al incremento de la producción de petróleo no convencional en Estados Unidos y el mantenimiento de los niveles altos de producción de la OPEP (Ruíz, 2015). Para Aliaga J. y Gantier M. (2015), el retroceso del petróleo no se explica por el debilitamiento de la demanda, sino más bien por un factor geopolítico por parte de los líderes de la OPEP para sacar del mercado la producción de petróleo no convencional.

De acuerdo a las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía IEA, el panorama de la demanda de petróleo a corto plazo varía considerablemente de una región a otra. Por cada barril de petróleo que se deja de usar en países de la OCED, se usan dos barriles más en los que no pertenecen a esta organización. En el escenario central analizado, la demanda de energía mundial se incrementará en 37 pp, siendo el suministro de energía a mundial dividido en cuatro partes casi iguales: petróleo, gas, carbón y fuentes alternativas.

Particularmente, se proyecta que la mayor demanda de petróleo para el transporte y la industria petroquímica provocara el aumento de la demanda de 90 millones de barriles diarios en 2013 a 104 millones el 2040. El incremento de la demanda estaría acompañado por el incremento de los precios y políticas medioambientales que frenaran el ritmo del consumo. Se estima que para satisfacer esta demanda, será necesario invertir cerca de 900.000 millones de dólares anuales hasta la década del 2030 para el desarrollo de la exploración y explotación de petróleo y gas natural.

Para finalizar este apartado, es necesario resaltar la naturaleza especulativa de los análisis prospectivos a nivel mundial, inclusive por la agencia más grande a nivel mundial de estudios energéticos. Debido a la existencia de un mercado de instrumentos financieros de petróleo altamente especulativo, y a la misma naturaleza incertidumbre que caracteriza a las

industrias extractivas, es difícil pronosticar efectivamente las tendencias futuras de los precios de recursos como el petróleo.

Solo como ejemplo basta recordar la encuesta de Reuters a analistas del sector energético publicada en enero del 2007 (REUTERS, 2009). En esta figura la proyección para el 2008 de 95.48 dólares el barril por la agencia Goldman Sachs. Meses después, la alta volatilidad del petróleo lo llevó a más de los 147 dólares. De igual forma es interesante analizar el análisis prospectivo realizado durante el 2008 por la IEA (IEA, 2008). De acuerdo al escenario principal, el precio promedio del barril del petróleo se situaría por encima de los 100 dólares entre el 2008 y 2015. Una estimación que no contaba con los sucesos políticos y económicos que caracteriza el actual periodo.

3.3.3 Industria del Gas Natural

A continuación se estudian las características de la industria de gas natural que, a pesar de su larga data de haber sido descubierto, se mantuvo desplazado del desarrollo industrial que experimentaron las empresas de carbón y de petróleo debido a las dificultades de su transporte.

3.3.3.1 Características de la Industria del Gas Natural

El Gas Natural (GN) es la segunda fuente de energía no renovable de mayor importancia relativa a nivel mundial. Este recurso puede ser hallado durante los procesos extractivos de petróleo o en yacimientos probados de este recurso, para luego ser sometido al proceso de acondicionamiento en el que se separan las impurezas junto a otros hidrocarburos y adicionalmente se añade un odorizante para ser transportado.

El proceso de exploración comienza con el análisis de la composición del suelo. A continuación se realizan trabajos más específicos que incluyen el estudio de las formaciones rocosas. En cuanto más precisa es realizada esta tarea, mayor es la probabilidad de encontrar gas natural en un determinado yacimiento.

El siguiente paso consiste en la perforación del yacimiento a nivel terrestre o marítimo. El equipo empleado para esta tarea depende de dos factores: la localización de la napa de gas y la naturaleza de la superficie rocosa. En esta fase, la tasa de recuperación juega un rol importante. A diferencia del petróleo, el gas natural sale a la superficie terrestre sin intervención externa, debido a la presión que ejerce bajo la tierra. Empero, en algunas ocasiones son requeridos métodos, como el de bombeo de barra, para obtener este recurso.

El tratamiento de gas natural, constituye el siguiente paso dentro de la cadena productiva de gas natural. Esta fase consiste en el reagrupamiento, acondicionamiento y refinamiento del GN en bruto, con el fin de transformarlo en energía útil para el consumo. Una vez tratado este recurso, es pasado a un sistema de transmisión para luego ser transportado a través de gasoductos o barcos. Debido a que este recurso se mueve a altas presiones, existen estaciones de compresión a lo largo de los gaseoductos diseñados para mantener el nivel necesario de presión y así ser finalmente distribuido para su por empresas de servicios públicos⁹.

⁹ Dentro de la literatura económica se utiliza el concepto de *Utility* para hacer referencia a las empresas gubernamentales que explotan y mantienen infraestructuras de servicios públicos.

Al igual que en la industria del petróleo, existe la posibilidad, de almacenar este recurso antes de ser distribuido para su consumo. Esto se logra jugando con la presión de las estaciones y gaseoductos, cuyos altos costos hacen que esta no sea una técnica atractiva para enfrentar comportamientos de consumo estacionales.

3.3.3.2 Economía y la Industria del Gas Natural

Durante el proceso productivo, la fase de transporte en la industria del gas natural es la más importante. Esto se debe a que, en ausencia de líneas de transmisión denominados gaseoductos, el GN carece de valor¹⁰.

En realidad, la complementariedad de estos dos mercados va dos sentidos. Por un lado, el GN no puede ser transportado sin gaseoductos y por otro, la infraestructura de estos últimos les imposibilita transportar otros combustibles.

Otra característica de interés económico, es la presencia de altos costos hundidos y costos operativos decrecientes. La primera de estas explica por qué algunas empresas son reacias a invertir en capacidad que solo será aprovechada esporádicamente, es decir en presencia de demanda de tipo estacional. Este es uno de los principales problemas a los que se enfrenta la industria, debido a que el almacenamiento de Gas Natural es sumamente costoso.

Los mecanismos tradicionales para lidiar con demandas estacionales pueden ser de carácter técnico o económico. En el primer grupo se encuentra la técnica de jugar con la presión de los gaseoductos, *e.i* aumentarla en temporadas bajas y viceversa en temporadas altas. La desventaja de esta técnica es el costo adicional que significa para la industria del gas. Por otro lado, las técnicas económicas, parten de la creación de incentivos para disminuir el consumo durante épocas altas y aumentarlo en épocas bajas, mediante la creación de tarifas especiales.

El significado de los costos decrecientes para esta industria está relacionado al concepto de capacidad productiva. Si por ejemplo se prevé que el mercado del gas natural experimentará un crecimiento sostenible durante los próximos años, la decisión conveniente de inversión sería en gaseoductos de mayor diámetro que están asociados a costos más altos pero cuentan con mayor capacidad para transportar el gas.

3.3.3.3 Perspectivas del Gas Natural

El gas natural ha sido uno de los segmentos más dinámicos en el consumo mundial de energía comercial de los últimos años. Ya a partir de la década de escases de la energía de los setentas, este recurso se consolidó como la fuente de energía del futuro.

Entre las características que hacen a al GN particularmente atractivo, se encuentran: (1) el menor ratio de emisiones carbono por Bep en comparación de los dos combustibles fósiles antes mencionados¹¹, (2) la conveniencia de su uso para propósitos domésticos, de transporte e industrial y (3) el bajo nivel de precios para su comercialización.

¹⁰ En ausencia de gaseoductos para el transporte del gas natural, este es o bien quemado o reinyectado en la tierra para mantener la presión en reservas de petróleo. En otras palabras, la infraestructura constituye un factor significativo para el desarrollo del Mercado del gas.

¹¹ De acuerdo a Piachs R. el carbón mineral y el petróleo generan 26.8 y 20 toneladas de carbón por 172.23 Bep o el equivalente a un Terajoul respectivamente, mientras que el gas natural emite 15.3 toneladas de carbono por Terajoul de energía.

De acuerdo a la IEA, la demanda de gas natural aumentará más de la mitad, el crecimiento más rápido entre los combustibles fósiles. A diferencia de la demanda de petróleo, la producción de gas aumentará a nivel mundial. De hecho, solo la producción de gas no convencional representará casi el 60% del crecimiento en el suministro internacional. Si bien se espera un panorama positivo para el mercado del GN, la mayor preocupación es la disponibilidad a precios activos para los consumidores que al mismo tiempo ofrezcan incentivos los requerimientos de inversión de la industria.

4 INDUSTRIA de ENERGÍA ELÉCTRICA

El objeto de este apartado está centrado en la Industria de Energía Eléctrica. La energía eléctrica es un bien de consumo intermedio que es provisto por utilities energéticas y otras empresas con fines más específicos¹². A continuación, se estudiarán las características del primer tipo de empresas.

4.1 Características de la Industria

La Industria de Energía Eléctrica está dedicada a la provisión de electricidad a los sectores industriales, comerciales y domésticos de la economía¹³. Ésta se encuentra segmentada en tres actividades, que son: generación, transporte y distribución.

La principal característica de esta industria, es la presencia de economías de escala¹⁴ en el rango relevante de producción y en algunos casos, de economías de alcance¹⁵. Las empresas que exhiben economías de escala son conocidas como monopolios naturales; mientras que aquellas que cuentan con economías de alcance, se denominan monopolios multiproductos.

En el caso de Bolivia, existen once empresas dedicadas a la Generación, cuatro al Transporte y siete dedicadas a la Distribución de energía eléctrica (ISA Bolivia). Con la promulgación de la Ley 1604 en 1994, se desintegraron las actividades del sector, y se dio inicio a una etapa de regulación y fijación tarifaria. En contraste, existen países en los que la integración vertical es una práctica permitida en este sector bajo el argumento de que aumenta la eficiencia en la producción de electricidad, tal es el caso de Estados Unidos; país que estuvo cerca de cien años dominado en el sector por empresas verticalmente integradas¹⁶.

Entre otros de los aspectos propios de esta industria se pueden identificar los siguientes tres: (1) estructura de costos caracterizada por altos costos hundidos y costos decrecientes de operación; (2) capacidad limitada; (3) demanda estacional; (4) bien no almacenable; y (3) impactos ambientales generados a lo largo del proceso de producción de electricidad.

¹² En este punto nos referimos a aquellas empresas dedicadas a la producción de baterías eléctricas o generadoras *standby* dedicadas a operar en periodos de falla de los sistemas de las utilities.

¹³ La energía transformada en esta industria se denomina energía secundaria, y se define como aquella obtenida a partir de una fuente primaria u otra secundaria después de sufrir un proceso físico, químico o bioquímico que modifica sus características iniciales.

¹⁴ Existirán economías de escala en la producción de una empresa uniproducción siempre que el Costo Medio sea decreciente en relación al producto.

¹⁵ La existencia de economías de alcance garantiza la presencia de subaditividad de costos, lo que significa que es más eficiente para una empresa producir una variedad de productos, que para varias de estas.

¹⁶ En este país, se llegó a un consenso (1910) sobre permitir a estas operar a cambio de la implementación de normas y mecanismo de regulación en cada Estado. En la actualidad, la estructura de este sector en algunos Estados ha cambiado de forma sustancial a favor de la reestructuración del sistema y la competencia.

La presencia de costos hundidos y costos operativos decrecientes significa que, cuando el sistema está en funcionamiento, el costo marginal¹⁷ se encuentra por debajo del costo promedio de producción de electricidad. Este punto será detallado para cada etapa del sistema de producción más adelante.

La electricidad es el único *commodity* que no puede ser almacenado a gran escala y a un costo razonable. Esto es particularmente problemático para las entidades que operan en el sector de la transmisión, que tienen la necesidad de igualar la oferta y demanda de energía eléctrica a “tiempo real”. Es por este motivo que la coordinación entre las decisiones de inversión en generación y de transmisión de energía eléctrica es sumamente importante en la industria.

Para las empresas dedicadas a la generación, es de vital importancia el poder contar con la suficiente capacidad para hacer frente a los picos diarios y estacionales de carga¹⁸. Para las industrias que tienen la posibilidad de acumular la energía en forma de inventario, estos picos de carga son fáciles de manejar, sin embargo en las industrias de energía eléctrica, esta tarea es mucho más difícil de realizar. Si bien en este sector industrial existen en la actualidad sistemas¹⁹ diseñados para realizar esta tarea, estos significan costos sumamente altos, que para algunos no son justificables²⁰.

Otra de las dificultades a las que se enfrenta la industria, yace en los impactos de ésta sobre la estabilidad del ecosistema. Las centrales termoeléctricas son criticadas por los altos niveles de contaminación que ésta emite, las centrales de energía hidráulica por daños que provocan en el ecosistema principalmente cuando son construidas represas que alteran el ecosistema y las centrales de energía nuclear por el alto nivel de riesgo que implica desde el proceso de minería hasta el funcionamiento mismo de la planta tanto para obreros como para las poblaciones más cercanas de los reactores.

4.1.1 Generación de Energía Eléctrica

La generación de energía eléctrica se realiza en centrales que cuentan con generadoras diseñadas para producir electricidad a partir de diferentes medios, que incluyen: la combustión de combustibles fósiles o de biomasa, el aprovechamiento de la fuerza cinética del agua o del viento, y la fisión nuclear. Estas centrales que frecuentemente se encuentran localizadas en áreas lejanas a los centros de consumo en donde son conectados a redes de transmisión de alto voltaje.

Dependiendo de la fuente de energía utilizada para generar electricidad, las centrales de generación pueden clasificarse en: centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, eólicas y fotovoltaicas.

En la Ilustración No.5 se desglosan las generadoras que comprenden cada una de las centrales con la finalidad de identificar los combustibles utilizados en cada uno de los sistemas.

¹⁷ El costo marginal (CMg) refleja el costo de suministrar un kilo watt hora (KWh) adicional. Este es uno de los drivers importantes para la toma de decisiones de los actores del sector energético.

¹⁸ De acuerdo a la Comisión de Energía de California, el concepto de pico de carga se refiere al nivel máximo de demanda de electricidad que ocurre en particulares periodos de tiempo.

¹⁹ El sistema más utilizado por las utilities energéticas consiste en el almacenamiento por bombeo de agua. Básicamente, esto consiste en la construcción de un depósito en la cima de una colina, a la cual se bombea agua durante los picos bajos de demanda, y viceversa durante los picos altos de demanda para alimentar las generadoras de energía eléctrica.

²⁰ Ver: Meyers Charles, Tarlosk Dan (1971), Selected Legal and Economic Aspects of Environmental Protection.

Ilustración No. 7
Centrales de Generación de Energía Eléctrica
Fuente: Elaboración propia.



Los costos en los que incurren estas centrales, independientes del tipo de energía utilizada para la generación de electricidad, son costos fijos y costos variables u operativos. El primero está principalmente compuesto por costos de capital y de tierra. A su vez, los costos de capital hacen referencia a los costos incurridos a lo largo del proceso de construcción de la planta, y dependen en gran parte de los costos de regulación, *i.e.* normativas medioambientales y permisos de funcionamiento.

Los costos variables o costos operativos, se definen como aquellos costos incurridos que dependen de la cantidad de energía producida. Estos recogen las diferencias tecnológicas que existen entre las diferentes centrales de generación, es decir costos de la mano de obra, costos de mantenimiento y costo de las fuentes de energías utilizadas durante proceso.

El costo variable de las centrales termoeléctricas basadas en la combustión de recursos fósiles, depende de los precios de mercado de los combustibles. Por este motivo es que tienden a ser más altos que los costos operativos incurridos por las generadoras nucleares, hidroeléctricas y aquellas basadas en la energía solar y eólica.

Independientemente de la tecnología utilizada, existen otras características compartidas por todas las generadoras que influyen en el funcionamiento del sistema. Entre estas se encuentra el concepto de flexibilidad de operación, que sirve para determinar las generadoras ideales para abastecer cargas básicas de energía y picos de carga altos.

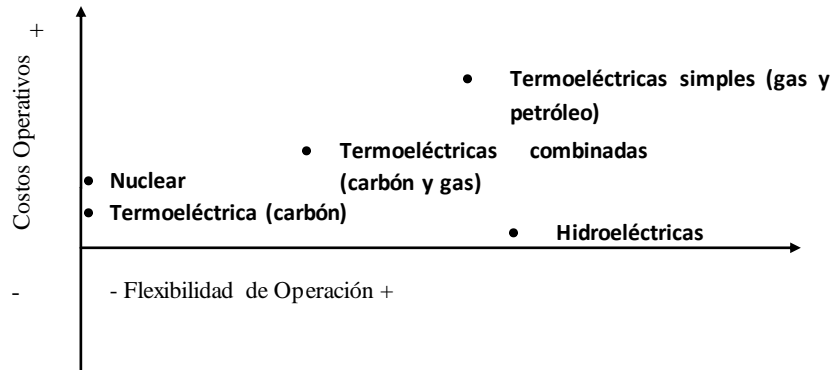
De acuerdo al nivel de flexibilidad, se pueden identificar dos tipos de plantas generadoras: plantas de menor flexibilidad y plantas altamente flexibles. Las primeras se definen como aquellas que cuentan con *tiempos de rampa*²¹ lentos y con un mayor *tiempo de ejecución*²², mientras que las últimas cuentan con tiempos de rampa más veloces y un menor tiempo de ejecución. Las plantas de menor flexibilidad sirven para satisfacer cargas base de energía y las plantas de mayor flexibilidad sirven para satisfacer cargas pico.

²¹ El tiempo de rampa también conocido como *Ramp Time*, se define como la cantidad de tiempo que se necesita desde el momento en el que el generador es encendido hasta al momento en el que puede proveer la menor cantidad energía a la red.

²² El tiempo de ejecución también conocido como *Run Time*, se define como la cantidad de tiempo que necesita una planta para operar una vez que esta es encendida.

En el siguiente gráfico se relacionan los conceptos de costos operacionales con el nivel de flexibilidad de diferentes fuentes generadoras. Como se puede observar, no se incluyen las fuentes de origen renovable debido a que su flexibilidad de operación depende de condiciones más que nada climatológicas.

Ilustración No. 8
Comparación entre Costos Operativos y Flexibilidad de Operación de Generadoras



Fuente: Blumsak Seth, (2004) Basic economics of power generation, transmission and distribution, Department of Energy and Mineral Engineering. Recuperado de: <https://www.e-education.psu.edu/eme801/node/532>

4.1.1.1 Despacho de Carga

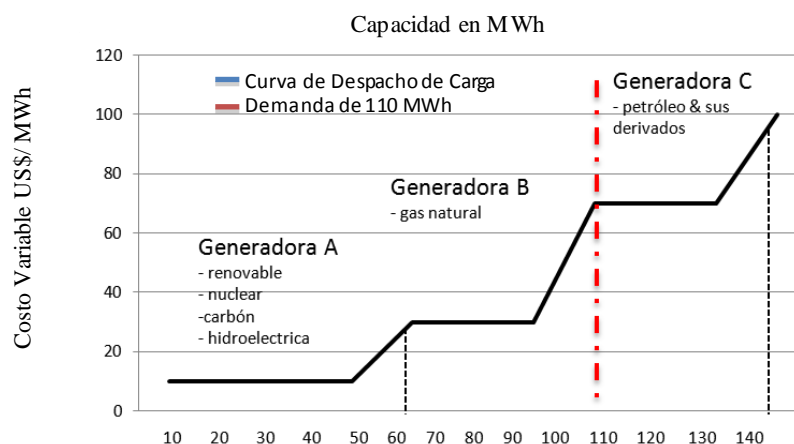
El objetivo que persigue esta industria es producir la energía eléctrica necesaria para cubrir la demanda durante un periodo de tiempo determinado, de forma sostenible y al mínimo costo operativo posible. Para realizar esta tarea, el funcionamiento de las plantas generadoras en la industria es programado, lo que significa que se determina la carga de oferta disponible para abastecer la demanda prevista de electricidad. A esto es a lo que se conoce como Despacho de Carga.

La implementación conceptual del despacho de carga, parte de la activación de la fuente generadora con el costo operativo más bajo, hasta que ésta alcance su máxima capacidad o hasta que la carga necesaria sea satisfecha. Si es que la fuente de generación más barata alcanza su capacidad antes de satisfacer la demanda, la segunda fuente de generación del menor costo operativo es puesta en funcionamiento. Este proceso continua sucesivamente, poniendo en funcionamiento fuentes de generación más caras, hasta que toda la demanda es satisfecha.

El despacho de carga se representa por una curva diaria del sistema, denominada como Curva de Despacho de Carga en la que se considera información sobre la potencia de cada unidad generadora, la demanda y los costos operativos. Con esta información se apilan las fuentes generadoras de energía bajo el criterio de menor costo de operación, para determinar así el ordenamiento de activación de las plantas.

Con ayuda de la curva de despacho de carga se pueden ilustrar las diversas tecnologías de generación existentes en el sistema. Esto se lo puede observar en la siguiente figura que representa gráficamente la relación entre la demanda hora a hora de energía eléctrica y la curva de despacho de carga.

Ilustración No. 9
Curva Hipotética de Despacho de Carga



Fuente: Elaboración propia²³

Cada nivel de la curva de despacho representa una generadora del sistema de energía. En el gráfico, por fines didácticos se identifican tres Generadoras: A, B y C basadas en diferentes fuentes de energía.

El eje de las ordenadas representa el costo variable de la producción de energía eléctrica para cada generadora y el eje de las abscisas representa la capacidad total del sistema distribuida entre cada una de las generadoras. Esto significa que, para determinar que plantas deberían operar en el sistema si la demanda fuera de 105 Mwh, sería necesario que las Generadoras A y B estuvieran en funcionamiento, *i.e.* la carga a la izquierda de la línea punteada será despachada.

Como se vio anteriormente, las generadoras basadas en fuentes de origen renovable, hidroeléctricas y nucleares, al no incurrir en los costos de combustible cuentan, junto a aquellas basadas en la combustión del carbón, con los costos operativos más bajos. Sin embargo, sufren de restricciones que imposibilitan su pleno aprovechamiento. Las generadoras hidroeléctricas se encuentran condicionadas a las condiciones climatológicas que determinan la presencia y la potencia de las corrientes de agua. El factor climatológico también constituye un determinante en el funcionamiento de las plantas de origen renovable.

Para mayores niveles de demanda de energía, son principalmente utilizadas las generadoras termoelectricas basadas en la combustión de gas natural. Si bien estas son más caras respecto a las anteriores, cuentan con la ventaja de estar diseñadas para funcionar instantaneamente y durante cortos periodos de tiempo.

Finalmente, durante las horas pico de consumo, son utilizadas aquellas termoelectricas basadas en la combustión de petróleo y sus derivados. Este tipo de generadoras, constituyen sin duda, aquellas que cuentan con los costos operativos más altos, motivo por el cual son utilizadas durante picos altos de demanda.

En Bolivia la etapa de Generación está considerada com una actividad competitiva, motivo por el cual la Autoridad de Fiscalización y Control de Electricidad no la regula. El precio spot y el orden del despacho de carga son determinaados por la empresa con el costo marinal más bajo. Este mercado es administrado por la Comité Nacional de Despacho de

²³ **Nota:** El orden de la colección de fuentes energéticas para cada Generadora fue tomada únicamente con fines didácticos y no representa la distribución real de los sistemas de energía eléctrica. La disponibilidad de generadores y su capacidad difieren de región a región.

Carga que planifica la operación integrada del sector eléctrico y realiza el despacho de carga. Generalmente son las generadoras hidroeléctricas las primeras en entrar, y a medida que la demanda de electricidad aumenta entran en operación las generadoras termoelectricas a gas natural y finalmente a diesel oil (Zárate y Sanabria, 2009).

4.2 Transporte o Transmisión de Electricidad

Cerca de los centros de consumo, se encuentran las redes de transmisión de electricidad de alto voltaje que son conectadas a través de una serie de transformadores a las redes de bajo voltaje de distribución. Los principales costos en los que se incurren en esta actividad son los de operación, mantenimiento, administración y mantenimiento.

Las transacciones de compra y de venta del sector mayorista son concretadas a través de esta red de transmisión. En Bolivia esta actividad se encuentra regulada por la AE debido a su calidad de monopolio bilateral. La remuneración de la transmisión depende del ingreso tarifario que es fijados siguiendo la metodología de tasa de retorno, y el peaje; tarifa estampilla que depende del volumen transportado independientemente de la distancia y que es cobrado a los operadores que hacen uso de su línea, *i.e.* generadoras en la proporción del 25% y distribuidoras en un 75%.

4.3 Distribución de Electricidad

Los costos que dominan tanto en la etapa de transmisión como de distribución, son los costos de capital, mientras que los costos marginales de ambas redes son iguales a cero, siempre y cuando no opere a su límite de capacidad.

La distribución en Bolivia es una actividad regulada por la presencia de monopolios geográficamente localizados. La metodología regulatoria utilizada se conoce como *Price Cap* que se determina sobre los costos medios. Esta tarifa es renovada cada cuatro años en base a la disminución por mejoras en la eficiencia, la indexación a la inflación y las variaciones del tipo de cambio.

4.4 Eficiencia Energética

De acuerdo a las leyes de la termodinámica, la eficiencia hace referencia al uso de sistemas y estrategias que permitan reducir las pérdidas asociadas a las tres fases del ciclo energético, que van desde la generación hasta su distribución y consumo. Ésta se determina por la diferencia, entre la temperatura del vapor que ingresa a las turbinas y la temperatura del flujo de condensado, e implica que: (1) la eficiencia energética puede ser alcanzada a partir del aumento del input de temperatura; (2) la eficiencia también puede alcanzarse disminuyendo el output de temperatura; y (3) con cualquier nivel de input y output de temperatura posible, se desperdicia una gran cantidad de energía en forma de calor.

Para fines económicos, esta óptica de eficiencia no es útil. En realidad, la pérdida de Bep durante el proceso de conversión de la energía no afecta las decisiones de los agentes, de consumir carbón o electricidad generada a partir de este recurso. Los hogares definirán su elección, en las bases de los costos iniciales, costos operacionales y la conveniencia de utilizar una u otra fuente energética.

Para las empresas generadoras de energía eléctrica, la eficiencia involucra la tecnología por un lado y la capacidad de generación por otro. Más específicamente, el interés en esta

industria es el poder cuantificar el impacto de los cambios tecnológicos, dentro del proceso de generación de energía, que es capturado por el Costo de Capacidad Unitaria (UCC por sus siglas en inglés). Esta medida se define como la relación entre el costo total de adquisición de nuevas facilidades de capital y la capacidad²⁴ de generación de energía eléctrica.

El UCC aumenta a medida que los costos operativos se incrementan, mientras se realicen inversiones en instalaciones de manipulación y por la sustitución de alternativas económicas de recursos energéticos, entre otros.

4.5 Regulación

Como se lo mencionó anteriormente, la presencia de regulación económica en esta industria se justifica debido a la estructura de mercado de la misma. Este proceso de regulación busca asegurar la sostenibilidad económica y financiera del sistema eléctrico, garantizando el suministro eléctrico con los niveles necesarios de calidad y al mínimo costo posible y un nivel de competencia efectivo en el sector.

En Bolivia, las funciones del agente regulador, Bajo el cargo de la Superintendencia de Electricidad, comprenden: (1) regulación de precios y tarifas, (2) control de operación y calidad, (3) otorgación de derechos, (4) protección de derechos del consumidor y (5) protección de competencia.

4.6 Perspectiva del Sector Eléctrico

La electricidad es la forma final de energía de más rápido crecimiento. Los datos disponibles para economías como Estados Unidos (U.S Historical Statistics, 1975) muestran una tendencia creciente del consumo y de la disponibilidad de esta forma de energía a partir de 1905.

De acuerdo a la IEA, para satisfacer la creciente demanda de los próximos 25 años, será preciso construir unos 7200 gigavatios de capacidad para avanzar al mismo ritmo que la creciente demanda de electricidad. Se espera que el desarrollo de tecnologías renovables incrementará hasta un tercio la proporción de las mismas en la generación mundial de energía, mejorando de esta manera la eficiencia en el uso de energía final. No obstante, el cambio a tecnologías más intensivas en capital y los precios elevados de combustibles fósiles para alimentar generadoras térmicas conducirán al aumento de los costos medios del suministro de electricidad y de los precios de consumo.

5 IMPACTOS DE LA INDUSTRIA ENERGÉTICA

No podríamos finalizar este documento sin antes mencionar los efectos que tienen las industrias de energía en la salud y el medioambiente, motivo por el cual se dedica esta cuarta parte al estudio de los efectos inherentes de la industria.

²⁴ La capacidad se define como la máxima tasa de poder de energía que puede sostener una planta generadora durante un periodo de operación normal. Usualmente medido en kilowatts.

5.1 Impactos Sociales y Medioambientales

La producción y consumo de energía están vinculados a problemas que afectan la estabilidad medioambiental y ponen en riesgo la salud y seguridad del ser humano (Spangar, p. 265). A estos efectos, se los conoce dentro de la literatura económica como externalidades.

En el sector energético las externalidades se refieren a los costos o beneficios relacionados con la salud, el medio ambiente y en *materiales* en los que se incurre como resultado de las actividades que forman parte cadena productiva y/o de consumo energético, pero que no forman parte del precio pagado por los consumidores de este recurso. De manera tal que el costo asociado a esos efectos es cubierto por la sociedad en su conjunto (Hernández S., 2009). Las vías de acción en presencia de esta falla de mercado, comprenden diferentes mecanismos de internalización de los costos externos.

En la Ilustración No. 9, se puede observar gráficamente esta falla de mercado tomando como ejemplo la industria de producción de carbón, donde:

Q^M : cantidad tranzada en el mercado.

P^M : precio de mercado.

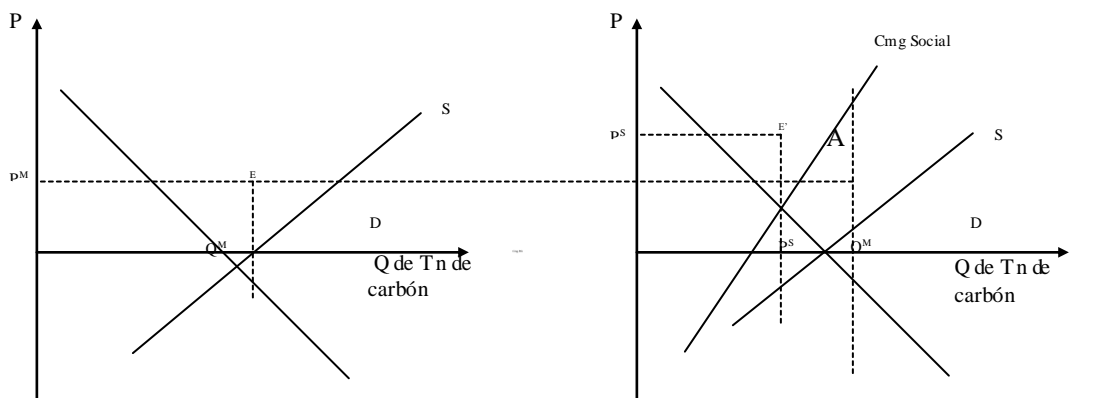
E: nivel de equilibrio en el mercado.

E' : nivel de equilibrio de mercado con la internalización de la externalidad.

A: área que refleja el costo marginal social de producir carbón.

En presencia de externalidades negativas en este sector, el coste marginal social es mayor al coste marginal privado. La causa de la ineficiencia es la fijación del precio de producción de carbón por debajo de un nivel eficiente. Es decir un precio que refleja el coste marginal privado de producción de carbón, pero no así el coste marginal de la sociedad.

Ilustración No. 10
Externalidad Negativa en la Producción de Carbón



Fuente: Elaboración propia.

Las externalidades presentes en el sector energético, así como también los instrumentos utilizados para su internalización son discutidos a continuación.

5.1.1 Impactos en el Medioambiente

El proceso de producción, transformación y consumo de energía degrada el medioambiente. En el sector petrolífero por ejemplo, el mayor daño provocado es el de la contaminación marítima. Se estima que a lo largo de la cadena productiva del petróleo y de

sus derivados, son vertidos más de 3 millones de toneladas de este combustible²⁵. Los residuos provenientes de fugas de buques transportadores de petróleo, de pozos petroleros marítimos e inclusive de yacimientos de tierra firme cuyos desechos llegan al mar a través de las aguas residuales, contienen compuestos de óxido de azufre y de nitrógeno y otros metales pesados que son altamente peligrosos para la vida marítima.

La industria de generación de electricidad a partir de la combustión de recursos fósiles como petróleo y sus derivados, carbón y gas natural, es considerada como uno de los principales emisores de los gases de efecto invernadero. Con la quema de una tonelada de petróleo, se produce tres toneladas de CO₂ que son emitidas al medio ambiente. Por otro lado, la quema de carbón, produce los mayores índices de dióxido de carbono de la industria, además de hollín y mercurio, entre otros compuestos letales para la salud y medioambiente.

Con el objetivo de internalizar estos efectos externos, se han diseñado mecanismos de regulación directa junto a otros instrumentos económicos. En el primer grupo se encuentran normas y técnicas para controlar la cantidad de gases emitidos y la calidad ambiental del combustible. Por otra parte, los instrumentos de carácter económico comprenden mecanismos de: (1) asignación de derechos de propiedad del espacio que es contaminado, con el objetivo de hacer recuperables los costos del daño medioambiental a los damnificados; (2) impuestos ambientales y (3) mercados de emisiones.

El mayor problema yace en la dificultad de identificar a los agentes damnificados por las externalidades y cuantificar sus pérdidas. Los proyectos energéticos, involucran grandes cambios asociados con pérdidas para un sector y ganancias generalmente para los consumidores. La compensación de las pérdidas a partir de cualquier tipo de mecanismo, es una actividad difícil de ejecutar en la práctica, sin mencionar altamente costosa.

Los impactos más importantes de los sistemas de oferta energética están relacionados con la pérdida de equilibrio en el ecosistema, que se resume en la siguiente tabla:

Tabla No. 3
Efectos ambientales de las Industrias Energéticas

Efectos Principales Causas	
Contaminación de aire	Combustión de combustibles fósiles como: petróleo, gas, kerosene, etc. Liberación de hollín, monóxido, dióxido de carbono y óxido de azufre, entre otras sustancias nocivas como resultado de los procesos de extracción.
Contaminación de agua	Derrames de combustibles en mar, lagos, ríos, lluvia ácida o filtración de combustibles a las napas subterráneas de agua.
Contaminación de tierra	Producida por elementos tóxicos de origen fósil, que se depositan sobre el suelo por la acción de la lluvia ácida. Construcción de embalses y centrales hidroeléctricas. Tala indiscriminada de árboles para la construcción de campos petrolíferos o la generación de energía. Rupturas de oleoductos.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Impactos en la Salud

Los impactos en la salud física se manifiestan como enfermedades agudas, crónicas, y en el peor de los casos la muerte. Las causas específicas de estos siniestros comprenden

²⁵ Datos de la organización ecologista Greenpeace.

accidentes en centros de explotación y generación de energía, la emisión de distintos gases nocivos para la salud y el derrame de desechos tóxicos en los ríos.

Como se lo mencionó anteriormente, dos cuestiones relacionadas al sector energético son seguras: (1) no es posible construir una sociedad industrial desarrollada sin energía y por otro lado, (2) la producción y uso de este recurso tiene efectos en el medioambiente y la integridad del ser humano. En otras palabras existe un *trade off*, que es útil analizar a partir de una óptica de costo-beneficio.

Para fines de cuantificar el impacto de esta industria en la salud, se utiliza el costo basado en la valoración de la vida humana. Para esta tarea existen dos aproximaciones, contrarias entre sí. La primera busca responder: cuál es la “*disposición a pagar*” por la vida, y la otra es la “*disposición a aceptar*”.

El primer acercamiento, se basa en el cálculo del valor presente del flujo de ingresos del individuo, descontando el costo de su subsistencia. El problema de este método, es que se subestima el valor de la vida al no considerar aspectos sociales, imposibles de ser medidos en términos monetarios. De hecho este mecanismo es el mismo que es utilizado en la actualidad por países como Estados Unidos para valorar las cabezas de ganado vacuno.

La otra alternativa, está relacionada a la compensación salarial frente a exposición de riesgo, mecanismo reconocido en la economía desde los tiempos de Adam Smith. El obstáculo de éste, yace en el cálculo del diferencial salarial.

5.1.3 Desarrollo Sostenible

De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el concepto de desarrollo sostenible se define como “el proceso de ampliar la gama de opciones de las personas, brindándoles mayores oportunidades de educación, atención médica, ingreso y empleo, y abarcando el espectro total de opciones humanas, desde un entorno físico en buenas condiciones, hasta libertades económicas y políticas”. Este concepto integracionista abre un abanico de dimensiones relevantes que comprende la estabilidad económica y social, política y ambiental.

El desarrollo sostenible introduce un elemento polémico dentro de las decisiones tomadas en el sector industrial. Como se lo vio anteriormente, la teoría de la mina no considera los efectos en terceros durante el proceso de producción. Más aún, señala dentro de sus principales postulados que, depósitos de mayor renta económica deben ser explotados primero. ¿Cómo armonizar dos direcciones conceptuales tan opuestas?

Durante mucho tiempo se antepuso la utilidad presente de los agentes económicos para explotar los depósitos de recursos naturales. El argumento utilizado estaba basado en el incremento del ingreso per cápita como resultado del desarrollo industrial impulsado por las actividades energéticas, el mismo que serviría como *herencia* para las generaciones futuras. Indirectamente se planteaba la compensación de la explotación indiscriminada de los recursos naturales a cambio de mayores niveles de ingreso, tal que garanticen niveles de vida al menos mayores a los que son disfrutados por las generaciones actuales.

Hoy en día se reconoce que, por un lado el ingreso no es la variable determinante del desarrollo económico de una nación, y por otro, que la relación intergeneracional no significa que las generaciones futuras tengan que heredar un mundo con la misma cantidad de recursos naturales. Sin embargo, se resalta la necesidad de compatibilizar el criterio económico de eficiencia económica y sostenibilidad de desarrollo tal que los recursos naturales y acervo natural puedan ser conservados.

No obstante la tesis de desarrollo sostenible adolece de cierta ambigüedad en su definición, lo que ha condicionado la aparición de múltiples definiciones del término en función de disímiles circunstancias e intereses particulares de los autores (Bouille D, 2004) y por ende su aplicación²⁶. El principal motivo yace en los temas de equidad referido a las generaciones futuras, *i.e.* Equidad intergeneracional que constituye el punto clave para la comprensión de problema del desarrollo sostenible y la búsqueda de soluciones comunes para alcanzarlo.

6 ENERGÍA Y POLÍTICAS DE GOBIERNO

Para finalizar este trabajo se tocan es este apartado la cuestión de planificación y política energética.

6.1 Definición de Política Energética

Diferentes sucesos históricos demostraron cuán vulnerable es la estabilidad económica ante la naturaleza agotable de las principales fuentes energéticas, la volatilidad de precios, y los efectos de cambio climático que se derivan de la generación de energía. A raíz de los hechos de la década de los 70s y 80s, se resaltó el vínculo existente entre el sector energético y el desempeño de la economía, así como también la importancia del rol que juega la política energética para el desarrollo de una nación.

En el sentido más estricto de la palabra, el concepto de *política* se define como la adopción de un conjunto de acciones y compromisos coherentes, coordinados y racionalmente diseñados con finalidades específicas. En esta dirección, se puede definir a la política energética como el conjunto de mecanismos diseñados para hacer frente a los retos en materia energética que ponen en riesgo la estabilidad y desarrollo económico.

La formulación de política es un proceso que tiene como inicio la identificación de divergencias entre una realidad económico-social y las aspiraciones que se desean alcanzar (Somoza J. y Medero P). En el sector energético, este proceso consta de tres pasos: diagnóstico, visión y elaboración de estrategias. El primero consiste en elaborar un diagnóstico actual del sistema energético y de su relación con los otros sectores de la economía, con la finalidad de identificar las debilidades del sector para alcanzar un objetivo determinado.

El planteamiento de una visión se entiende como el estado al que se aspira llegar a partir de acciones coordinadas y coherentes entre sí, que buscan modificar la situación de partida. La visión puede estar compuesta por uno o más objetivos de política. En este último caso, es recomendable establecer un orden prioritario al momento de alcanzar los objetivos trazados.

Por último, deben ser identificados los mecanismos de política necesarios para armonizar la realidad con los objetivos proyectados. Estos son planteados dentro de una estrategia que debe ser revisada y ajustada continuamente, considerando las condiciones presentes y perspectivas futuras de la situación económica, así como de los mercados energéticos a nivel nacional e internacional.

²⁶ Para ampliar la información sobre el debate generado en torno a este tema, ver Olson M. & Landsberg H., *The No-Growth Society* (1973).

A la evolución del contexto internacional, *i.e.* las tendencias de los mercados de capitales y su evolución regional, la posición de organismos internacionales y multilaterales en relación a la otorgación de financiamiento de proyectos energéticos, e inclusive a la evolución procesos de integración, se conoce como condiciones de borde. Estos, junto a otros aspectos escapan de la influencia directa de las políticas desplegadas en el ámbito nacional. Por ello representan un desafío que, de acuerdo a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, debe ser enfrentada a partir de procesos integración regional, desarrollados dentro de los objetivos trazados individualmente²⁷. Estos últimos comprenden: (1) seguridad de abastecimiento energético a un bajo costo, (2) eficiencia energética, (3) equidad²⁸, (4) conservacionismo e (5) integración energética. El reto que enfrentan las economías es el poder alcanzar estas metas sin poner en riesgo el desempeño económico.

En la actualidad todas las economías diseñan e implementan medidas de política energética de forma independiente y/o conjunta, direccionadas en diferentes sentidos y poniendo énfasis a objetivos específico. Por un lado por ejemplo, existen economías como Rusia que persiguen a largo plazo garantizar un amplio abanico de objetivos como la seguridad energética, eficiencia energética, desarrollo sostenible y la reducción del impacto de las industrias energéticas sobre el medioambiente²⁹, mientras que otras, como Estados Unidos, trazan políticas más bien específicas como en el caso de este país que busca garantizar independencia energética a partir del desarrollo e investigación de nuevas fuentes energéticas y consolidar a la par reservas de petróleo³⁰.

También son elaboradas en la actualidad políticas conjuntas. Tal es el caso de las estrategias asumidas por la Unión Europea que se basan en un plan de acción de eficiencia energética y de desarrollo de fuentes alternativas energéticas buscando minimizar los impactos ambientales.

6.2 Independencia Energética

Como se lo mencionó en la sección del sector petrolífero, en agosto de 1973 los países miembros de la OPEP llevaron a cabo el embargo de petróleo a Estados Unidos y sus aliados. Los efectos de esta crisis se tradujeron en el inicio de un periodo recesivo que, a pesar de que el embargo se levantó en marzo de 1974, fueron sentidos a lo largo de década de los setentas y a principios de los ochentas.

A raíz de este suceso, se produjeron cambios en las políticas estructurales de los países afectados por la decisión de la OPEP y de aquellos dependientes del petróleo. Las políticas asumidas en su momento fueron diversas. La política a corto plazo asumida por Estados Unidos por ejemplo, se basó en el control de precios. Esto para promover las prospecciones petrolíferas internas, otorgándole al petróleo interno recién descubierto un precio por encima del *viejo*.

Sin embargo, en el caso de esta economía, esta medida profundizó la escases de crudo al disminuir la competitividad del petróleo ya descubierto. A largo plazo, el embargo

²⁷ Ver: Energía y cambio climático: oportunidades para una política energética integrada en América Latina y el Caribe, publicaciones de la CEPAL (2008).

²⁸ La equidad se refiere a garantizar el acceso de energía eléctrica a nivel nacional. Este objetivo se encuentra dentro de los Objetivos del Milenio, como parte de la erradicación de la pobreza.

²⁹ Estas políticas se encuentran dentro del documento de “Estrategia Energética” que establece la política de nación de Rusia al 2020.

³⁰ Estados Unidos mantiene la mayor reserva estratégica de petróleo que al 2008 equivalían a 33 días de su consumo. El resto de los miembros de la Agencia Internacional de Energía AIE, también mantienen reservas importantes. Otros países como China e India han comenzado a generar sus propias reservas durante los últimos años.

aumentó a nivel mundial la conciencia energética, y priorizó la independencia energética, que se define como el conjunto de instrumentos de políticas diseñados para promover la independencia en las importaciones de energía y autosuficiencia energética.

Este proceso puede ser alcanzado a partir de: (1) la creación de legislaciones de política, (2) el incentivo de la exploración de yacimientos petrolíferos a partir de subsidios e inversiones en el sector, (3) el apoyo de la investigación y desarrollo de otras fuentes de energía, (4) y creación de fuentes de suministro de recursos en calidad de reservas.

6.3 Crecimiento Económico y Eficiencia Energética

Durante la década de los 60s y a principio de los 70s, el debate de política económica se centró en la promoción de crecimiento económico y las principales preocupaciones en países desarrollados, en el ahorro de capital y dotación y calidad de recursos humanos insuficientes. Sin embargo, ya a partir de la crisis del petróleo, y con más fuerza durante la década de los 80s, el vínculo existente entre el crecimiento económico, consumo energético e impacto ambiental se hicieron evidentes³¹.

En la actualidad existe un consenso sobre rol que juega la política energética, es decir como la rama de la política nacional de desarrollo e interconectada a la promoción de la sostenibilidad de desarrollo socio-económico³². Es por este motivo que hoy en día no se discuten únicamente vías de crecimiento, sino formas de alcanzar el objetivo en consideración de los impactos del sector y sobre todo de la seguridad energética.

En esta dirección, la demanda de energía se revela como un elemento fundamental de la política energética. Esto debido a que a partir de la gestión de la demanda se viabiliza la reducción de los costes de provisión energética y de los impactos de la industria, e incrementan la seguridad energética (Agencia Internacional de Energía). En la práctica, esta tarea es alcanzada a partir de dos vías: la reducción en términos absolutos del consumo energético, o el aumento de la eficiencia de energía.

La eficiencia energética se refiere a la efectividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de energía, es decir al uso efectivo de la energía a lo largo del proceso productivo y de consumo. Este concepto es usualmente analizado a partir de la evolución del indicador de Intensidad Energética.

Los factores relevantes a la hora de explicar la evolución del IE, de acuerdo al *Análisis de la evolución de la Intensidad Energética* elaborado por Mendiluce M. y Linares P. (2008), comprenden: cambios estructurales en la economía, el cambio tecnológico, la sustitución de combustibles, los precios de la energía y su regulación, el efecto saturación, las preferencias de los consumidores y las estrategias de crecimiento económico.

Como se vio en secciones anteriores, el aprovechamiento de fuentes de energía no tradicionales (solar, eólica, geotérmica, entre otras), constituyen alternativas para generar energía de forma eficiente. Sin embargo, la producción de energía a partir de estas fuentes se ve obstaculizada por los altos niveles de inversión a los que están asociados. Por este motivo es que una política dirigida a impulsar el crecimiento en armonía con el objetivo de eficiencia

³¹ Otros autores, como Schurr S. (1982), ponen en discusión un lazo mucho más amplio, comprendiendo este no solo el crecimiento y desarrollo de la economía con el sector energético, sino también el crecimiento poblacional. Sin embargo, debido a la dificultad de identificar con claridad una forma de influir a partir de instrumentos de política en este último aspecto, dejamos de lado este último vínculo para centrar nuestra atención en la relación de crecimiento y energía.

³² Ver: "Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la Formulación de Políticas Energéticas". Seminario taller sobre Política Energética para el Desarrollo Sustentable y el uso del modelo LEAP, (2003). □

energética debe partir de la acumulación de capital y el incentivo en inversión en el sector de fuentes energéticas alternativas³³.

6.4 Conservacionismo

Una posición contraria a la del crecimiento económico a partir del aprovechamiento de los recursos energéticos, es el conservacionismo. Esta corriente se basa en la conservación de fuentes de recursos fósiles, a raíz de la preocupación de los efectos del sector sobre el medioambiente, la salud del ser humano y el costo del ajuste a futuro de fuentes alternativas de energía.

El rol de los instrumentos de política para alcanzar este objetivo comprende : (1) la derogación de leyes que obstaculicen el alcance del objetivo conservacionista, (2) incentivar la generación de energía alternativa, (3) redirección de las políticas tributarias e incentivos para conservar la energía y finalmente (4) la prohibición de ciertas conductas de consumo. Empero, en la práctica no existen economías dirigidas únicamente a promover la conservación energética. Los motivos se encuentran en las consecuencias asociadas al funcionamiento de la economía, que no son difíciles de imaginar.

No obstante, esto no significa que el conservacionismo no sea parte de las políticas de gobierno. En realidad, ya a partir desde los ochenta con el surgimiento de la necesidad de hacer frente a la realidad del agotamiento de los recursos, se diseñaron y aplicaron políticas para promover la conservación de los recursos energéticos fósiles. Entre algunas de estas se encuentran la elaboración de políticas dirigidas a la promoción del desarrollo de nuevas fuentes energéticas, el incentivo al ahorro de combustibles de vehículos privados a partir del mejoramiento de los servicios de transporte público y la fijación de altos precios de los derivados del petróleo, y la concientización sobre los beneficios de ahorrar energía a partir del aprovechamiento de los medios de comunicación.

El objetivo de política en el que todas las economías convergen, es indudablemente la promoción de Investigación y Desarrollo (I&D) de nuevas fuentes de energía. El motivo de esta dirección de política es debido a las externalidades positivas asociadas a esta medida con un impacto directo en el principal objetivo que es la seguridad energética.

7 Comentarios Finales

¿Cuán importante es la energía para la economía? Diferentes sucesos a lo largo de nuestra historia, como la Revolución Industrial o la Crisis del Petróleo, han demostrado que el desarrollo y estabilidad económica dependen de la toma de decisiones relacionadas al sector energético. De hecho, en la actualidad se atribuye como base del progreso de la civilización humana al descubrimiento, uso y desarrollo de fuentes de energía; en síntesis, a la existencia de un vínculo entre la economía y la energía. Esta relación, que es objeto de la Economía del Sector Energético, se justifica por la naturaleza misma de la energía; bien intermedio de consumo de una economía. Por este motivo es que las variaciones en los niveles de producción y precios de la energía, demuestran tener un efecto en el comportamiento de los diferentes sectores de la economía.

No obstante, el estudio de este sector no se limita al análisis del comportamiento de los precios y de los niveles de producción. De hecho, como se vio a lo largo de este documento,

³³ Para profundizar sobre políticas de acumulación de capital en el sector consultar Spangar W. 1994, p. 284-287.

esta tarea comprende un campo de estudio mucho más amplio, que implica tanto el conocimiento de aspectos técnicos de un sector en específico, como la teoría y política económica.

A diferencia de las industrias de generación de energía eléctrica, las industrias dedicadas a la explotación de recursos fósiles son estudiadas a partir de una base teórica adicional a la teoría económica de la firma, *i.e.* la teoría de la mina. Esta teoría es a las industrias del carbón, del petróleo y del gas natural, lo que la teoría de la competencia perfecta es al estudio de las estructuras de mercado. En otras palabras, se trata de un marco referencial o *benchmark* para poder analizar la complejidad de las decisiones tomadas en un ambiente caracterizado por la incertidumbre.

Como se pudo analizar para cada uno de los casos, el comportamiento de los agentes decisores de estas empresas se aleja de los postulados de la teoría. Esto se debe a que la simpleza de la misma, no considera aspectos inherentes que juegan un rol importante en la toma de decisiones de las empresas. Para el caso del sector petrolífero por ejemplo, se estudió el rol que juegan los siguientes factores dentro de las decisiones de estas empresas: la presencia de recursos fugitivos, la tenencia incierta de los depósitos mineros y la incertidumbre sobre el comportamiento del mercado. Para el caso de las empresas del carbón y del gas natural, se analizó el rol de las normativas regulatorias y la cotización de los minerales en la decisión de la instalación y explotación del mineral.

Dentro del sector de generación de energía final se estudió a la industria de energía eléctrica. En el apartado correspondiente se desglosaron los mercados que forman parte de la industrias, *i.e.* los mercados de generación, transmisión y distribución de electricidad. Particularmente se prestó atención a las características de las fuentes de generación de energía para comprender la programación de la carga de las plantas generadoras de electricidad.

Una de las características compartida por las industrias que conforman este sector yace en las externalidades de la producción y de consumo del output. A partir del desarrollo de este tema emergen dos grandes retos del sector. En primer lugar, poder desarrollar e implementar un mecanismo que logre compensar los costos sociales inherentes a los proceso de producción. En segundo lugar, la necesidad de la promoción del desarrollo e investigación en fuentes alternativas de energía que logren responder a una demanda creciente de forma sostenible.

Para cerrar este documento introductorio al estudio de la economía del sector energético se planteó el concepto de la política energética. En este último capítulo se identificaron las distintas tendencias de política energética, que comparten el fin común de garantizar la provisión de energía de forma estable, continua y sostenible.

8 ANEXO

FUENTES ALTERNATIVAS de GENERACIÓN de ENERGÍA

A continuación se desarrollan las características de las fuentes alternativas de generación de energía, así como también otras fuentes energéticas.

8.1 Energía Solar

Esta forma alternativa consiste en el aprovechamiento de la energía proveniente del sol que se conoce como insolación. De acuerdo a Kuper A.(1973, pp. 4-5), ésta excede la cantidad de energía que la población mundial podría utilizar. A pesar de la abundancia de este recurso, su aprovechamiento no es necesariamente asequible. De hecho, el principal obstáculo que inviabiliza su pleno desarrollo, está relacionado a los altos niveles de capital necesarios para la generación de energía a gran escala (instalación y construcción de fuentes de almacenamiento), aun cuando los costos de operación son relativamente baratos.

Los métodos para aprovechar la energía proveniente del sol pueden ser:

- Colectores de calor diseñados a partir de la arquitectura de estructuras.
- Colectores de concentración.
- Colectores fotovoltaicos.
- Colectores satelitales.

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía, la generación de esta forma de energía puede ser la primera fuente de generación eléctrica en 2050. Esto se debe a que durante los últimos años la rápida reducción del costo de los módulos fotovoltaicos y de los sistemas ha abierto nuevas perspectivas para utilizarla la energía solar como una gran fuente de electricidad.

8.2 Biomasa

Dentro de las fuentes de generación de energía renovable, se encuentra la biomasa que fue hasta inicios de la Revolución Industrial la fuente energética más importante. La biomasa consiste en el aprovechamiento de la energía acumulada del sol, de la materia orgánica animal y vegetal, lo cual es realizado a partir de la exposición de esta materia a diferentes procesos termoquímicos o bioquímicos.

Entre las alternativas para producir energía en esta industria se encuentran:

- Combustión de madera.
- Combustión de desechos.
- Producción de combustibles líquidos con el procesamiento de alimentos tales como la soya o el maíz.

Algunas de las desventajas de esta industria son:

- Riesgo de producir sustancias tóxicas para los seres vivos debido a una mala ventilación durante el proceso de combustión.
- Tala ilegal de árboles para abastecer el consumo.

- Altos costos de producción, que en el caso de la industria del biocombustible, son mayores a los que se obtienen con el producto final.
- Desgaste de la tierra con la producción intensiva de fuentes orgánicas de energía.

8.3 Energía Producida a partir del Movimiento del Agua

Este tipo de energía aprovecha el movimiento natural de fuentes de corriente de agua, e.g corriente de ríos u olas del mar, para generar energía. La generación de energía a partir de este mecanismo fue un mecanismo de producción protagonista durante la Revolución Industrial.

En esta industria no se puede hablar estrictamente de reservas, sino más bien de potencial de producción. Sin embargo, una aproximación utilizada para fines específicos es la “reserva” equivalente a un determinado potencial hidroeléctrico.

Las principales desventajas de esta industria pueden ser resumidas en tres: económicas, técnicas y medioambientales. Existen desventajas económicas debido a los altos costos de instalación y mantenimiento de las plantas. Existen desventajas técnicas debido a la dificultad de transportar la energía. Finalmente se dice que existen desventajas medioambientales debido a las amenazas que significa para el ecosistema la construcción de represas o centrales de generación hidroeléctrica.

8.4 Energía Eólica

Este tipo de energía aprovecha la fuerza de las corrientes de aire para alimentar generadores de electricidad. Una característica importante de esta industria son los altos niveles de inversión que se necesitan para el buen funcionamiento de la planta.

8.5 Energía Nuclear

El uso de energía nuclear de forma pacífica es utilizado por primera vez en la década de los 60 en EEUU para el funcionamiento de submarinos de la fuerza militar. En la actualidad, esta forma de energía constituye una alternativa para alimentar centrales de generación eléctrica, en regiones que carecen de causas hidrológicas para emplear energía hidráulica, fosas naturales terrestres para aprovechar la energía geotérmica, o las condiciones necesarias para poder hacer uso de reactores en base de energía solar o eólica.

El proceso de producción de energía consiste en la fusión de ciertos isótopos de uranio con la ayuda de neutrones, los cuales al ser disparados dividen al átomo de uranio. Dicha fusión genera el calor que es utilizado para generar energía eléctrica. La complejidad del proceso implica grandes riesgos para el hombre.

Algunas de las características de esta industria son:

- Altos costos fijos y costos de operación menores a los de las centrales termoeléctricas convencionales. Los principales costos de esta industria son los de la inversión en la construcción de las plantas y los que se incurren durante el proceso de adquisición de los metales utilizados. Particularmente en esta industria, el rol de la inflación sobre la tasa de interés, de los préstamos adquiridos por las empresas del servicio público, y la relación de los precios de la “torta amarilla”, junto a otros metales, se ve reflejada en la medida de UCC.

- Altos costos no monetarios. Esta industria está sujeta a estrictos estándares³⁴ y medidas preventivas monitoreadas por los gobiernos debido a los riesgos: humanos, ante la exposición de radiación; medioambientales, a raíz de fugas de radiación; y de seguridad ante el peligro de la elaboración de armas de destrucción masiva en base a residuos nucleares.

En la actualidad la energía nuclear constituye una fuente consolidada, vigente y competitiva de generación de electricidad. Al 2012 el sistema de generación de electricidad de la Unión Europea estaba constituido por un 29% de energía nuclear, 22% de energía renovable, carbón en un 21%, gas en 17% y petróleo en un 10%³⁵.

³⁴ De acuerdo a un artículo elaborado por Suzanne Weaver para el Wall Street Journal en 1979, debido a los altos estándares de control y medidas de seguridad en las plantas nucleares, esta industria constituía la segunda con la menor cantidad de fatalidades humanas durante el proceso de generación de energía, mientras que la industria del carbón ocupaba para entonces el primer lugar.

³⁵ Datos rescatados del portal del Ministerio de Energía del Gobierno Español 2013. http://www.minetur.gob.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia_en_espana_2013.pdf

9 Bibliografía

- Adelman, M. A. (1962). *The Economics of Petroleum Supply: Papers by MA Adelman, 1962-1993*. MIT press.
- Adelman, M. A. (1982). Coping with supply insecurity. *The Energy Journal*, 1-17.
- Aliaga J., & Gantier M. (2015) Informe de Coyuntura y Perspectivas Económicas, Región Andina. Instituto de Investigaciones Socio Económicas y Fundación Hanns Seidel, p 2.
- Baird, R. N. (1977). Production functions, productivity, and technological change. *Research, technological change, and economic analysis*. Lexington Books, Lexington, Massachusetts.
- Balling, R. C. (1995). Global warming: messy models, decent data and pointless policy. *The true state of the planet*, 83-108.
- Baratz, M. S. (1955). *The union and the coal industry* (Vol. 4). Associated Faculty Pr Inc.
- Berndt, E. R. (1982). *From technocracy to net energy analysis: engineers, economists and recurring energy theories of value*. Alfred P. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- Blomsak, S. (2004) *Basic econoics of power generation, transmission and distribution*. Departament of Energy and Mineral Engineering. Disponible en: <https://www.e-education.psu.edu/eme801/node/532>
- Bohi, D. R., & Toman, M. A. (1984). Analyzing nonrenewable resource supply.
- Bohi, D. R., & Montgomery, W. D. (1982). *Oil prices, energy security, and import policy* (No. JHUP-0293/XAB). Resources for the Future, Inc., Washington, DC (United States); Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, MD (United States).
- Bouille, D. H., & Suarez, C. E. (2004). Economía de la energía. *Consultado el*,15.
- Petroleum, B. (1977). Our industry petroleum. *London: British Petro—leum Company Ltd*.
- Brodman, J. R., & Hamilton, R. E. (1978). A comparison of energy projections to 1985.
- Buchanan, J. M. (1969). *Cost and choice: an inquiry in economic theory*. University of Chicago Press.
- Chapman, D. (1990). The eternity problem: nuclear power waste storage. *Contemporary Economic Policy*, 8(3), 80-93.
- Chase, A. (1995). In a dark wood: the fight over forests and the rising tyranny of ecology.
- Christenson, C. L. (1962). Economic redevelopment in the bituminous coal industry.
- Cline, W. R. (1992). Economics of Global Warming, The. *Peterson Institute Press: All Books*.
- Cookenboo, L. J. (1955). *Crude oil pipe lines and competition in the oil industry*(No. 2). Harvard University Press.
- Dasgupta, P. S., & Heal, G. M. (1980). *Economic theory and exhaustible resources*. Cambridge University Press.
- Davis, E. H., & Davis, E. W. (2004). *Pioneering with taconite*. Minnesota Historical Society Press.
- Deese, D. A., & Nye, J. S. (1981). *Energy and security*. Ballinger Pub Co.
- DeGregori, T. R. (1985). A theory of technology. *Continuity and Change in Human Development*. Ames (IA): *The Iowa State University Press*.
- De Vany, A., & Walls, W. D. (1993). Pipeline access and market integration in the natural gas industry: Evidence from cointegration tests. *The Energy Journal*, 1-19.
- Dubin, J. A., & Rothwell, G. S. (1990). SUBSIDY TO NUCLEAR POWER THROUGH PRICE-ANDERSON LIABILITY LIMIT. *Contemporary Economic Policy*, 8(3), 73-79.
- Duchesneau, T. D. (1975). *Competition in the US energy industry*. Ballinger Pub. Co..
- Edmonds, J., & Reilly, J. (1983). Global Energy and CO₂ to the Year 2050. *The Energy Journal*, 21-47.
- Enos, J. L. (1962). Invention and innovation in the petroleum refining industry. In *The rate and direction of inventive activity: Economic and social factors* (pp. 299-322). Princeton University Press.
- Evans, N., & Hope, C. (1984). *Nuclear power: futures, costs and benefits*. CUP Archive.
- Fisher, A. C., Krutilla, J. V., & Cicchetti, C. J. (1972). The economics of environmental preservation: A theoretical and empirical analysis. *The American Economic Review*, 605-619.

- Broadman, H. G. (1986). The social cost of imported oil. *Energy Policy*, 14(3), 242-252.
- Gaffney, M. (Ed.). (1967). *Extractive resources and taxation: proceedings* (Vol. 1). University of Wisconsin Press.
- Gamble, H. B., & Downing, R. H. (1982). EFFECTS OF NUCLEAR POWER PLANTS ON RESIDENTIAL PROPERTY VALUES*. *Journal of Regional Science*, 22(4), 457-478.
- Gately, D. (1984). A ten-year retrospective: OPEC and the world oil market. *Journal of Economic Literature*, 1100-1114.
- Gatly, D. (1993). The imperfect price-reversibility of world oil demand. *The Energy Journal*, 163-182.
- Georgescu-Roegen, N. (1987). The entropy law and the economic process in retrospect. *Schriftenreihe des IÖW*, 5, 87.
- Gilliland, M. W. (1975). Energy Analysis and Public Policy The energy unit measures environmental consequences, economic costs, material needs, and resource availability. *Science*, 189(4208), 1051-1056.
- Goeller, H. E., & Weinberg, A. M. (1976). The age of substitutability. *Science*, 191(4228), 683-689.
- Guía ARPEL: Índices de Energía en la Industria de Petróleo y Gas (2013). Asociación Regional de Empresas del Sector Petróleo, Gas y Biocombustibles en Latinoamérica y el Caribe.
- Hall, C. A., & Cleveland, C. J. (1981). Petroleum drilling and production in the United States: Yield per effort and net energy analysis. *Science*, 211(4482), 576-579.
- Hansen, J. A. (1983). US oil-pipeline markets: structure, pricing, and public policy.
- Harvey, C. E. (1986). *Coal in Appalachia: An economic analysis*. University Press of Kentucky.
- Hoffman, M. C. (1994). Future of Electricity Provision, The. *Regulation*, 17, 55.
- Holdren, J. P., Smith, K. R., & Morris, G. (1979). Energy: Calculating the risks (II). *Science*, 204(4393), 564-568.
- Hotelling, H. (1931). The economics of exhaustible resources. *The journal of political economy*, 137-175.
- Huettner, D., Kasulis, J., & Dikeman, N. (1982). Costs and benefits of residential time-of-use metering. *The Energy Journal*, 95-112.
- Huntington, H. G. (1994). Oil price forecasting in the 1980s: what went wrong? *The Energy Journal*, 1-22.
- IEA. (6 de 11 de 2008). Portal de Precio del Petróleo. Obtenido de <http://www.preciopetroleo.net/precio-petroleo-2008.html>
- International Energy Agency (2014). World Energy Outlook, Resumen Ejecutivo.
- Instituto Mundial del Carbón (2005). El carbón como recurso, una visión general del carbón.
- Jacoby, H. D., & Wright, A. W. (1982). The Gordian knot of natural gas prices. *The Energy Journal*, 1-25.
- Joskow, P. L. (1987). Contract duration and relationship-specific investments: Empirical evidence from coal markets. *The American Economic Review*, 168-185.
- J. Trueby y M. Paulus, 2010, "Have Prices of Internationally Traded Steam Coal been Marginal Cost Based?" Institute of Energy Economics at the University of Cologne.
- Kahn, E., & Baldick, R. (1994). Reactive power is a cheap constraint. *The Energy Journal*, 191-201.
- Kalt, J. P. (1981). Economics and politics of oil-price regulation: Federal policy in the post-embargo era.
- Kasson, J. F. (1999). *Civilizing the machine: technology and republican values in America, 1776-1900*. Macmillan.
- Krupnick, A. J., & Burtraw, D. (1996). The social costs of electricity: do the numbers add up?. *Resource and Energy Economics*, 18(4), 423-466.
- Lave, L. B., & Seskin, E. P. (1973). Air pollution and human health. *Readings in Biology and Man*, 169, 294.
- Macías E. Carlos (2007). El carbón, el recorrido de los minerales. Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de economía e innovación tecnológica, Comunidad de Madrid.
- MacAvoy, P. W. (1983). Energy policy-an economic analysis.

- Macdonald, S. (2013). *Petroleum conservation in the United States: An economic analysis*. Routledge.
- Mead, W. J. (1994). Toward an optimal oil and gas leasing system. *The Energy Journal*, 1-18.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., & Randers, J. (1992). Beyond the limits: confronting global collapse envisioning a sustainable future.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). The limits to growth. *New York*, 102.
- Mishan, E. J. (1970). *Technology and growth; the price we pay*. Praeger.
- Moore, M. J., & Viscusi, W. K. (2014). *Compensation mechanisms for job risks: wages, Workers' Compensation, and product liability*. Princeton University Press.
- Odum, H. T., & Odum, E. C. (1976). Energy basis for man and nature.
- Olson, M. (2007). The Logic of Collective Action [1965]. *Contemporary Sociological Theory*, 2, 111.
- Pierce, R. J. (1983). Reconsidering the Roles of Regulation and Competition in the Natural Gas Industry. *Harvard Law Review*, 345-385.
- Peirce, W. S. (1974). The ripple effects of technological innovation: The case of iron ore pelletizing. *Omega*, 2(1), 43-51.
- Ramón Pichs Madruga, (2006) "Tendencias energéticas mundiales: implicaciones sociales y ambientales". Centro de Investigaciones de la Economía Mundial (CIEM), La Habana, Cuba.
- R. Paul. (2015). CNN Expansión. Obtenido de <http://www.cnnexpansion.com/economia/2015/01/14/el-petroleo-barato-bueno-para-las-acciones>
- REUTERS. (01 de 09 de 2009). Portal de Precios del Petróleo. Obtenido de <http://www.preciopetroleo.net/precio-petroleo-2008.html>
- Ruíz, J. (13 de Enero de 2015). Petróleo: el 2014 no es el 2008. Obtenido de El Economista.
- Salinas D. y Muñoz C. (2014). La industria del carbón y su competitividad con el GNL. Revista electronica: *Breves de Energía* disponible en: <http://www.brevesdeenergia.com/blog/posts/2014-09-05-la-industria-del-carbon-y-su-competitividad-con-el-gnl#fn3>
- Shannon, R. H. (1982). Handbook of coal-based electric power generation. The technology, utilization, application, and economics of coal for generating electric power.
- Simon, J. L. (1980). Resources, population, environment: an oversupply of false bad news. *Science*, 208(4451), 1431-1437.
- Solow, R. M. (1974). The economics of resources or the resources of economics. *The American Economic Review*, 1-14.
- Spangar, W. (1996) Economics of the Energy Industries. Library of Congress Cataloging in- Publication Data. Segunda edición.
- Tierney, J. (1982). Take the A-plane. *Science*, 82(1), 46-55.
- Tietenberg, T. (1988). Environmental and Natural Resources. *Economics*.
- Toman, M. A. (2006). The difficulty in defining sustainability. *The RFF Reader in Environmental and Resource Policy*, 2.
- Zárate Gustavo y Sanabria Mónica. (2009). TOMO II ANÁLISIS MACROSECTORIAL del SECTOR ELÉCTRICO. *Unidad de análisis de políticas sociales y económicas UDAPE*
- Tussing, A. R., & Barlow, C. C. (1984). Natural gas industry: evolution, structure, and economics.
- Viscusi, W. K., & Fishback, P. V. (1994). Fatal tradeoffs: Public and private responsibilities for risk. *Journal of Economic Literature*, 32(1), 131-131.
- Viscusi, W. K. (1993). The value of risks to life and health. *Journal of economic literature*, 1912-1946.
- Webb, M. G., & Ricketts, M. J. (1980). Economics of energy.
- Wildavsky, A., & Tenenbaum, E. (1981). Politics of mistrust: estimating American oil and gas resources.
- Wilson, C. L. (1980). Coal: bridge to the future. Report of the World Coal Study, WOCOL.
- Wilson, F. (1981). *The Conquest of Copper Mountain* (p. 165). New York: Atheneum.
- Yergin, D. (2011). *The prize: The epic quest for oil, money & power*. Simon and Schuster.
- Zimmerman, M. B. (1981). The US coal industry: The economics of policy choice.