

Optimización de los Recursos energéticos

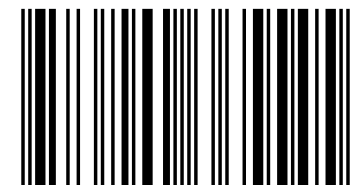
En este libro se presenta un modelo que tengo la convicción de que resultara en la semilla que permitirá alcanzar una mejor comprensión del problema energético y con este conocimiento se podrá lograr una planificación no solo mucho más rentable sino que también mucho más amigable con el medio ambiente. Este modelo permitirá analizar posibles políticas o medidas para apoyar el desarrollo de las energías renovables ya que llegado el caso las energías alternativas por razones de costo fueran desplazadas por las fuentes convencionales el estado podría tener una idea de los números aproximados para promover un cambio real en la matriz energética aplicando políticas correctamente orientadas y puntuales minimizando las pérdidas del estado y maximizando la preservación del medio ambiente, cuyo valor desde mi punto de vista es incalculable.



Julio Flores

Optimización de los Recursos energéticos

Modelado y análisis de la diversificación -
Estudio del mercado argentino



978-620-0-36554-5

editorial académica española

Julio Flores

Optimización de los Recursos energéticos

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

Julio Flores

Optimización de los Recursos energéticos

**Modelado y análisis de la diversificación - Estudio
del mercado argentino**

FOR AUTHOR USE ONLY

Editorial Académica Española

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:

Editorial Académica Española

is a trademark of

International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page

ISBN: 978-620-0-36554-5

Copyright © Julio Flores

Copyright © 2020 International Book Market Service Ltd., member of
OmniScriptum Publishing Group

FOR AUTHOR USE ONLY

Optimización de los Recursos energéticos: Modelado y análisis de la diversificación. Estudio del mercado argentino.

FOR AUTHOR USE ONLY

Autor: Dr. Julio Rolando Flores^{1,2}.

¹Universidad Nacional de Río Negro

²Laboratorio de Procesamiento de Señales Aplicadas y Computación de Alto Rendimiento. UNRN - Sede Andina.

FOR AUTHOR USE ONLY

Prefacio:

Ante todo, saludos a todos los estimados lectores. Me presento de forma resumida, soy doctor en ingeniería química, hice mi doctorado en la Universidad Nacional del Litoral y actualmente trabajo en la Universidad Nacional de Río Negro (Argentina), eh publicado varios trabajos en revistas internacionales sobre modelado y optimización principalmente centrado en la matriz energética argentina y otros más orientados en investigación operativa. Inicie mi doctorado con la idea clara de buscar alternativas a la problemática medio ambiental, pero no protestando y quejándome sino brindando alternativas y apoyando las alternativas y sugerencias de los demás. Es por eso que busque una forma de ayudar a las personas encargadas de las tomas de decisión en cuanto al desarrollo y la planificación. Busque desarrollar las bases de una herramienta que sea capaz de incluir diversos criterios y de cierta forma simular el comportamiento de los mercados. Una tarea titánica si se lo desea realizar en detalle, no solo por la información que debe ser provista al modelo sino también por lo costoso que resultaría computacionalmente hablando. Así que inicie con un modelo simple, que pudiera reflejar de forma aproximada los diferentes componentes del mercado energético, y desde el punto de vista del proveedor analizar los beneficios de modificar la matriz energética.

Con este modelo y sus modificaciones tengo la convicción de que se podrá alcanzar una mejor comprensión del problema energético y con este conocimiento se logrará una planificación no solo más rentable sino que también mucho más amigable con el medio ambiente, y si llegado el caso las energías alternativas por razones de costo fueran desplazadas por las fuentes convencionales el estado podría tener una idea de los números aproximados para promover un cambio real en la matriz energética aplicando políticas correctamente orientadas y puntuales minimizando las pérdidas del estado y maximizando la preservación del medio ambiente.

Antes de concluir este prefacio me gustaría agradecer a mi familia por el apoyo prestado y la paciencia que me tienen. Y no puedo olvidar mencionar a todos los docentes y profesores que se vieron involucrados en mi preparación, sin duda yo no sería la persona que soy si alguno de mis mentores hubiera faltado en mi desarrollo.

FOR AUTHOR USE ONLY

Índice

Problemática energética en el Mundo.	1
La energía en el mundo.	1
Problemática energética.	4
Matriz Energética Argentina.	5
Estado Actual de la Matriz Energética Argentina.	6
Mercados Energéticos.	7
Evolución de la Matriz Energética.	7
Optimización de las inversiones a largo plazo en la planificación de la energía.	8
Introducción.	9
El Modelo.	12
Resultados.	24
Escenario 1.	26
Escenario 2.	35
Escenario 3.	41
Conclusiones.	45
Bibliografía.	46

FOR AUTHOR USE ONLY

Índice de Figuras

Figura I-1: Comparación de la Matriz energética mundial [1], [2].	1
Figura I-2: Reservas Mundiales probadas de petróleo (miles de millones de barriles) [4].	2
Figura I-3: Reservas Mundiales probadas de Gas Natural (Trillones de metros cúbicos) [4].	2
Figura I-4: Precios del petróleo en dólares por barril (1861 – 2013) [4].	3
Figura II-1: Matriz energética argentina. [13]	8
Figura III-1: La producción de energía a partir de fuentes a los consumidores.	17
Figura III-2: (a) Mapa de los ríos, presas y la capacidad de energía eólica. (b) Mapa de velocidad media anual del viento a 50 m.	25
Figura III-3: Radiación solar media (a) Radiación media en enero. (b) radiación media de julio.	25
Figura IV-1: Evolución de la matriz Energética de Argentina desde el año 2000 hasta 2010.	30
Figura IV-2: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 100% GN).	32
Figura IV-3: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 95% GN).	33
Figura IV-4: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 90% GN).	33
Figura IV-5: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 85% GN).	34
Figura IV-6: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 80% GN).	35
Figura IV-7: Evolución de la matriz energética argentina (95% P - 80% GN).	35
Figura IV-8: Evolución de la matriz energética argentina (90% P - 80% GN).	36
Figura IV-9: Evolución de la matriz energética argentina (85% P - 80% GN).	36
Figura IV-10: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 100% GN).	40
Figura IV-11: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 93% GN).	41
Figura IV-12: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 87% GN).	41
Figura IV-13: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 80% GN).	42
Figura IV-14: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 73% GN).	42
Figura IV-15: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 67% GN).	43
Figura IV-16: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 100% GN).	45
Figura IV-17: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 93% GN).	46
Figura IV-18: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 87% GN).	46
Figura IV-19: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 80% GN).	47
Figura IV-20: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 73% GN).	47
Figura IV-21: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 67% GN).	48

Capítulo I. Problemática energética en el Mundo.

I.1. La energía en el mundo.

La realidad indiscutible es que el mundo fue y es altamente dependiente de las fuentes fósiles de energía, tal como se muestra en la Figura I-1 ([1] y [2]). En la figura podemos ver la alta dependencia de los recursos fósiles; también debemos ser conscientes del incremento de la demanda energética en el mundo, un mundo en desarrollo y una población en constante crecimiento. Tal es el caso que se reporta un incremento del 45% de la demanda energética con respecto a la consumida en 1993 para el año 2018 y lo más alarmante es que el aporte porcentual de las fuentes fósiles se mantiene casi inalterado.

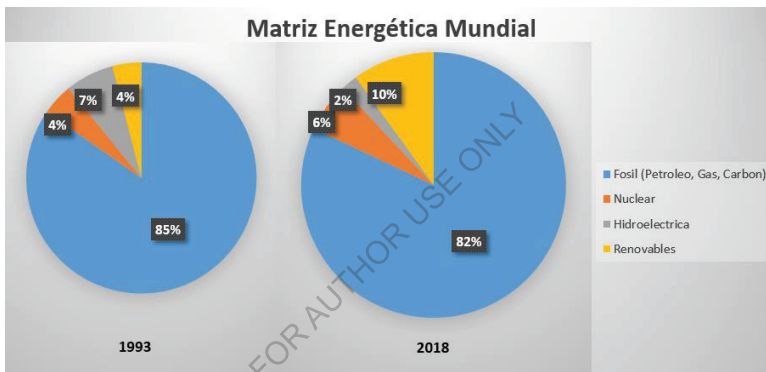


Figura I-1: Comparación de la Matriz energética mundial [1], [2].

A causa de esta alta dependencia de los recursos fósiles se genera un especial interés en las reservas disponibles, su capacidad productiva y sus características, que finalmente limitaran las posibilidades de explotación. A lo largo de la historia han existido diferentes momentos en los cuales se pensó que se alcanzaría el fin de las reservas de los combustibles fósiles, pero “siempre hemos tenido una buena idea que nos permite extender la vida útil de las reservas actuales o permita aprovechar otros recursos que antes no conseguíamos explotar” tal como lo expresa [3]. Y posteriormente comenta la posibilidad de explotación de los denominados combustibles alternativos como los shale. Una forma de explotación viable en estos momentos, algo novedosa y un tanto controversial, pero a fines prácticos una alternativa real y muy utilizada. Con lo cual hemos logrado incrementar las reservas

explotables de los recursos fósiles. En la Figura I-2 se muestran los niveles de las reservas de petróleo desde 1980 hasta el 2013 de donde se puede visualizar que a nivel mundial solo han existido cortos periodos de tiempo en los cuales las reservas se redujeron, en la Figura I-3 se muestran las reservas probadas de gas natural y es interesante el crecimiento constante de las reservas totales de este recurso. Estas graficas fueron construidas con la información contenida en el reporte de la BP P.L.C. [4].

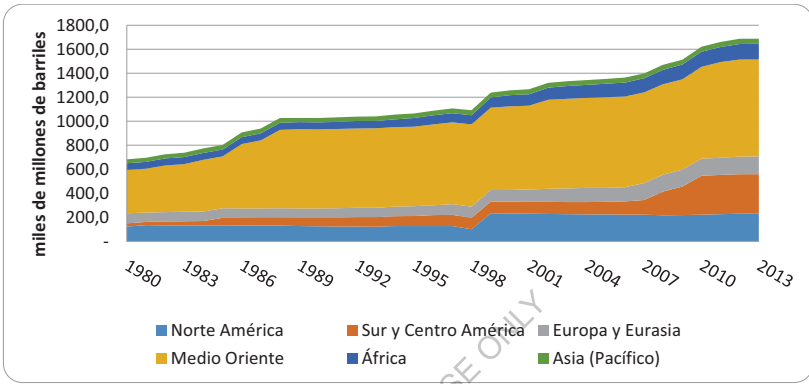


Figura I-2: Reservas Mundiales probadas de petróleo (miles de millones de barriles) [4].

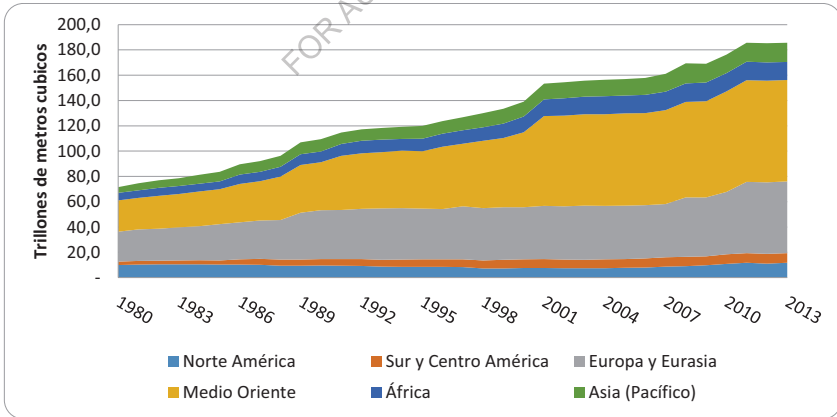


Figura I-3: Reservas Mundiales probadas de Gas Natural (Trillones de metros cúbicos) [4].

Hasta ahora hemos hablado solamente de la disponibilidad de los recursos fósiles, si bien se pudo ver que las reservas probadas crecen de manera prácticamente sostenida en el tiempo, lo que nos llevaría a pensar que existe cierta estabilidad en el suministro de los combustibles fósiles; cada vez es más difícil encontrar nuevas reservas o se trata de recursos de complicada explotación, por eso quizás en un principio sean catalogadas como reservas no probadas. Cuando la reserva se convierte en tecno-económica explotable se catalogara como reserva probada, además de los factores tecnológicos y económicos también se consideran factores contractuales, políticos y sociales [5]. Por esta posibilidad de evolución en la definición de las reservas la Figura I-2 y Figura I-3 muestran comportamientos crecientes principalmente al cambio de clasificación de las reservas, a medida que se incrementa el precio de los recursos fósiles mayor es la cantidad de reservas probadas. En la Figura I-4 se muestra la evolución del precio del petróleo crudo, la cual nos revela el incremento del precio, pero este incremento permite que las nuevas reservas sean consideradas como explotables.

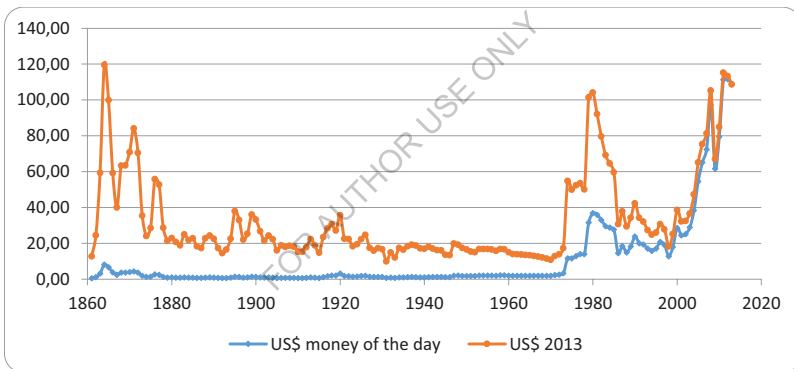


Figura I-4: Precios del petróleo en dólares por barril (1861 – 2013) [4].

Con lo resumidamente expuesto la pregunta lógica del lector sería, ¿se agotaran las reservas fósiles? La respuesta indiscutible es que si, se acabarían, pero nadie sabe cuándo. Las reservas son finitas [6] y por tanto se sabe que eventualmente se alcanzara el denominado “peak oil” este concepto es muy defendido sobre todo por geólogos y criticado por economistas, ambos ven de forma muy diferentes las reservas [7]. Aviel Verbruggen y Mohamed Al Marchohi [7] presentan un análisis sobre el concepto de “peak oil” con consideraciones medio ambientales, y arriban a conclusiones muy similares a los comentarios que estamos presentando sobre el impacto del precio de las

energías, en la cantidad de las reservas probadas. El “peak oil” de manera simplificada expresa un punto teórico el cual es el máximo punto de explotación del petróleo y a partir del cual la cantidad de petróleo caerá de manera irreversible. La posibilidad de que se punto ya se alcanzó o que aún está lejos de encontrarse es un debate abierto, lo que es cierto desde el punto de vista práctico es que se alcanzara y los recursos fósiles se agotaran eventualmente en todas sus formas. Ya se había hablado de que la vida útil de las reservas no se extendería a más allá del 2050, pero esto se extendió con las nuevas técnicas de extracción, nuevos hallazgos y con la reclasificación [3].

Hasta el momento solo nos hemos referido a el consumo de las fuentes no renovables, que de acuerdo con el reporte [8] representan el 82% como se representa en la Figura I-1, luego el momento de hace referencia a las demás fuentes de energía primarias empleadas actualmente. Entre estas fuentes de energía primaria se encuentran, la energía nuclear, la energía hidroeléctrica y las denominadas energías renovables.

La energía nuclear se basa en el empleo de minerales radioactivos, enriquecidos o no, que se emplean en un reactor para generar vapor de agua el cual se emplea las turbinas de generación produciendo energía eléctrica. Por emplear un recurso mineral, la consideramos una fuente de energía no renovable, pero las reservas disponibles no suponen una limitante. Es una fuente de energía bastante controversial, principalmente por los desechos que produce y el impacto que estos tienen en el medio ambiente. Esta fuente de energía representa un 6% del total de la energía consumida en el mundo al año 2018 (Figura I-1).

La energía hidroeléctrica por su parte en la mayoría de los casos se obtiene de represas artificiales, lo que implica un gran impacto medio ambiental en cuanto a la inundación de valles que resulta proporcional a la capacidad de la instalación de generar energía eléctrica. En los últimos años se han estado desarrollando turbinas hidrocínicas con capacidad industrial, desde hace bastante tiempo atrás se emplean estas turbinas para generación a nivel doméstico, su empleo está muy difundido en la zona del Amazonas, pero actualmente la empresa Hydro Green Energy [9] se encuentra realizando instalaciones de capacidad industrial de sus turbinas hidrocínicas. Lo cual provee una nueva posibilidad de captura de esta energía renovable. La energía hidroeléctrica representa un 2% de la demanda mundial de energía para el año 2011 (Figura I-1).

Por último nos queda mencionar las energías renovables que representan un 10% del consumo de energía del mundo (Figura I-1). En esta denominación se incluyen

varias fuentes de energía entre las más empleadas podemos mencionar la biomasa, que se la emplea para producir biocombustibles, energía eléctrica, la energía solar que se la puede capturar por medio de paneles fotovoltaicos para producir energía eléctrica o por medio de colectores y calentar o incluso generar vapor que puede ser empleado en procesos industriales o en una planta generadora de energía eléctrica, la energía geotérmica que se emplea principalmente para la generación de energía eléctrica.

I.2. Problemática energética.

En la sección anterior hemos establecido que la mayor parte de la energía en el mundo es provista por fuentes fósiles, ahora de lo que no se dijo nada es como recuperamos la energía. Existen varias alternativas tecnológicas, pero lo cierto es que las posibilidades se limitan cuando determinamos la energía secundaria que deseamos obtener, por ejemplo si buscamos energía eléctrica se requiere una termogeneradora con la capacidad de manejar el combustible adecuado. El empleo de los combustibles fósiles en cualquier de sus opciones tecnológicas nos dará como resultado gases de combustión, esto si suponemos que no tenemos fugas de ningún tipo de combustible o descomposición de este. Es por esto que el eje del debate sobre el empleo de los recursos fósiles actualmente se ha desviado al aspecto ambiental. Este nuevo eje requiere que hablemos del calentamiento global.

¿Que tan real es el calentamiento global? ¿Cuál es su real impacto?

Estas preguntas que hoy responderíamos indiscutiblemente con un “Si”, y que la gran mayoría nos remitiríamos a la disminución de los casquetes polares, el efecto del niño, y muchos otros fenómenos climatológicos que se atribuyen al incremento de la temperatura de la atmosfera. Fueron el centro de muchos debates y de muchas investigaciones.

En la actualidad es de general conocimiento el término de efecto invernadero y su impacto, quizás no debidamente fundamentado, porque para fundamentar estos efectos la verdad se debe conocer mucho de climatología, el impacto de la temperatura en el movimiento de las corrientes y como estas corrientes afectan el clima de las diferentes regiones. Esta realidad, plantea un gran desafío para el siglo XXI como es la búsqueda de fuentes de energías alternativas, renovables y no-contaminantes, para reemplazar a la producida por los combustibles fósiles no renovables, contaminantes, como el petróleo, gas y el carbón. Cada país en el futuro cercano debe enfrentar el abastecimiento de energía utilizando fuentes sostenibles para mantener la calidad de vida de la población [10]. En las próximas décadas, los gobiernos centrales tienen el

reto de suministrar energía de forma económica y respetuosa del medio ambiente. Este desafío ha propiciado una gran cantidad y variedad de trabajos de investigación, no sólo en la búsqueda de fuentes de energía alternativa, sustentable y de bajo impacto ambiental, sino también el desarrollo de nuevos procesos, mejoras y modificaciones a los existentes, mejoras en la industria automotriz y en la producción de combustibles, etc. Varias fuentes de energía renovables y sostenibles como la energía eólica, solar, biocombustibles, tienen un cierto nivel de madurez y están produciendo una cantidad importante de energía en todo el mundo [10][11][12]. Todos ellos tienen la ventaja que las emisiones de gases de efecto invernadero son neutrales o negativas, pero no pueden competir económicamente y/o en algunas otras características como la disponibilidad, el poder energético, etc., en comparación con el petróleo o el gas natural. Los Departamentos de Energía deben visualizar un plan de inversiones en energía a través de los incentivos económicos, y las subvenciones teniendo en cuenta las ventajas comparativas en recursos naturales.

FOR AUTHOR USE ONLY

Capítulo II. Matriz Energética Argentina.

Una matriz energética es una forma de representar de manera cuantitativa el empleo de la energía en sus formas primarias en una determinada región, o país. Una matriz energética es de vital importancia porque permite analizar y orientar la planificación en el sector energético con el objetivo de garantizar la producción y el uso adecuado de las fuentes de energía disponibles.

Para facilitar el entendimiento explicaremos de manera simplificada los diferentes tipos de energías, las características de cada una y finalmente nos centraremos en los mercados consumidores que son los que finalmente conducirán el desarrollo del sector demandando ciertos tipos de energía secundarias. Las fuentes de energía primaria se refieren a aquellas que se encuentran en el estado que se extraen o capturan de la naturaleza, como los casos de la energía hidráulica, la eólica, el petróleo, carbón y gas. Todas estas energías requieren una planta colectora para su obtención, pero la gran mayoría requieren una planta adicional de tratamiento que a lo largo del trabajo la denominaremos planta “convertora”, que principalmente se encargara de convertir un tipo de energía primario en uno secundario. Por otra parte, las fuentes de energía secundarias son los productos energéticos que salen de los centros de transformación o conversión de energía como la electricidad, gas distribuido en redes, naftas, diesel, fueloil, biodiesel, bioetanol, etc. Los mercados consumidores demandan principalmente energías secundarias.

II.1. Estado Actual de la Matriz Energética Argentina.

La composición de la matriz energética argentina se ilustra en la Figura II-1 [13]. Se puede observar que está compuesta por un 49% de gas natural, un 41 % petróleo, 4,5% hidroeléctrica, 2,5 % nuclear, 1,9 % madera y biomasa y 0,8% de otras fuentes. Para Argentina, según un informe presentado por Gerold (2008) en el IV Seminario Estratégico [14] organizado por la Sociedad de Ingenieros de Petróleo, se destaca que la matriz está particularmente sesgada hacia el petróleo y el gas, que es necesario realizar un cambio en la misma, aún cuando se tengan costos más elevados en la producción de energía nuclear, hidroeléctrica y de fuentes renovables, que es urgente plantear a futuro un plan integral concreto de implementación efectiva para el sector energético argentino.

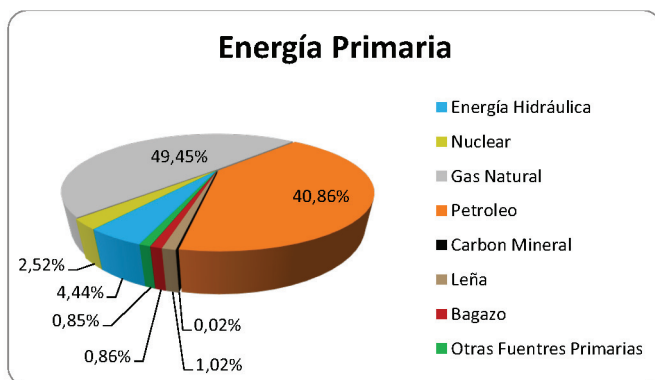


Figura II-1: Matriz energética argentina. [13]

Si analizamos el porqué de esta estructura energética, veremos que principalmente se debe a la gran versatilidad de las fuentes fósiles que en nuestro país han sido empleadas para todos los mercados energéticos, como lo reporta el MEM la mayor parte de la energía eléctrica se produce por termogeneradoras que son alimentadas principalmente por gas natural, en época invernal se emplean combustibles pesados como el fuel oil para suplir la demanda de gas en la producción de energía eléctrica, esto claro si la termogeneradora se encuentra acondicionada con los quemadores adecuados para cambiar fácilmente los tipo de combustibles. En época invernal el consumo de gas por parte del mercado residencial se incrementa de manera significativa, esto se debe principalmente a la demanda en calefacción. De forma similar se puede estacionalizar la demanda en la mayoría de los mercados.

II.2. Mercados Energéticos.

Por mercados energéticos entenderemos a un grupo de consumidores que los caracterizaremos por demandar una forma específica de energía. De esta forma tendremos el Mercado eléctrico que son todos los consumidores de energía eléctrica, tal es el caso de las instalaciones estatales, residenciales, etc., por otra parte el mercado de transporte, que para fines prácticos los dividiremos en transporte pesado y liviano. El Mercado del transporte liviano está constituido por los vehículos nafteros cuyo requerimiento de combustible pueden ser satisfechos por naftas, alcohol-naftas, y/o GNC. El mercado de transporte pesado está constituido por los vehículos diesel, cuyos requerimientos de combustibles pueden ser satisfechos por Diesel oil y/o Biodiesel.

También tenemos el mercado residencial que estará constituido por los que demandan gas natural para calefacción y cocina, y por último tenemos el mercado industrial que demandara combustibles como insumo para la producción, y/o energía eléctrica.

II.3. Evolución de la Matriz Energética.

Ahora debemos analizar de cómo el planeamiento energético va modificando nuestra matriz energética y como se busca la descentralización y completar una interconexión en el sector eléctrico que llevo a la integración del mercado eléctrico, y como se busca descentralizar las demás fuentes energéticas, aunque los intentos del estado se han centrado principalmente en las fuentes convencionales, y ahí es en donde debemos llamar la atención en otras fuentes y apoyar la diversificación.

Como se estableció en la sección I.2 la problemática energética se centra hoy en día en los efectos nocivos sobre el medio ambiente, principalmente el efecto invernadero. Pero de todas formas no debemos perder de vista la real limitación que significa la cantidad de reservas disponibles de los recursos fósiles. La nación está importando combustible para evitar un agotamiento de las reservas y trata de mantener la demanda balanceada con la reposición de las reservas y las importaciones.

Es importante recordar que los tipos de petróleos condicionan los tipos de combustibles y las relaciones entre estos que se pueden obtener, por ejemplo, un petróleo del norte es característicamente más liviano que uno del sur, y por tanto produce principalmente nafta. Este tipo de información es fácil de interpretar desde el valor de la densidad del petróleo pero cuando se habla de reservas se habla indistintamente, incluso la relación de gas petróleo en los pozos de gas húmedo se estiman y dadas las condiciones es lo mejor que se puede lograr. En la actualidad se importa sobre todo combustibles pesados [13] para suplir la cantidad que no se logra obtener de los crudos nacionales.

Como ya se mencionó el estado argentino se encuentra en una campaña proactiva en busca de diversificar la matriz energética, la búsqueda no implica el éxito, desde el

estado se han provisto incentivos para que se produzca esta diversificación, el más común es el incentivo económico, también se emplean mecanismos como la disminución o la eximición de parte o todo los impuestos. Un ejemplo de esto es el incentivo a la producción de biodiesel que produjo una explosión en la instalación de estas plantas, la gran mayoría emplean soja como materia prima.

Otro ejemplo de las políticas del estado se refleja en la instalación de la planta fotovoltaica interconectada con la red nacional más grande de Latinoamérica [15]. En este sector la provincia de San Juan encara nuevos proyectos [16] y busca aprovechar los recursos renovables disponibles.

Un importante recurso en nuestro país es la energía eólica, si bien ningún parque eólico se encuentra interconectado al sistema de distribución se han realizado un gran número de instalaciones de parques con fines de recabar información, también existen proyectos de parques de capacidad industrial como el parque Arauco [17].

FOR AUTHOR USE ONLY

Capítulo III. Optimización de las inversiones a largo plazo en la planificación de la energía.

III.1. Introducción

El uso de fuentes renovables para la producción de energía se está convirtiendo en una cuestión clave para el futuro de todos los países. Una de las principales razones para analizar la producción de energía por medio de fuentes renovables es el evidente calentamiento global, directa consecuencia del empleo indiscriminado de las fuentes renovables. La matriz energética argentina es altamente dependiente de los recursos fósiles, ante la creciente demanda energética resulta imperativo un planeamiento integral para garantizar la satisfacción de la demanda y posibilitar una conveniente diversificación.

La producción de energía se encuentra con el reto de satisfacer las crecientes demandas con la disminución de los recursos convencionales y la consiguiente exigencia de incorporación de nuevas fuentes. Se necesitan nuevas herramientas con el fin de armonizar, integrar los diferentes requerimientos, recursos y capacidades. En este capítulo se presenta una formulación MILP (Programación Lineal Entera Mixta) para analizar la planificación de las inversiones y el funcionamiento de diferentes fuentes de energía. El modelo propuesto permite alcanzar diferentes objetivos. El principal objetivo de este modelo es permitir la integración de las energías renovables en combinación con los no renovables con el fin de prolongar la vida útil de las reservas de recursos no renovables y permitir una diversificación de la matriz energética. Para las próximas décadas, el suministro de energía se reducirá a partir de combustibles fósiles y dependerá en una mayor proporción de fuentes renovables.

El modelo permite evaluar el valor económico de las inversiones en fuentes de energía convencionales (recursos fósiles) y renovables teniendo en cuenta diferentes aspectos como los montos de inversión, la disponibilidad de recursos, su operación, configuración, amortización, etc. La formulación adopta una representación multiperíodo que permite la evaluación de la evolución de los diferentes indicadores de rendimiento a lo largo del horizonte temporal. Además, el tiempo requerido para iniciar la operación de las nuevas instalaciones a partir del momento de la decisión de dicha inversión, así como el valor de amortización se tienen en cuenta. Desde el punto de vista de modelado, el modelo propone una formulación basada en la programación disyuntiva que permite una representación adecuada de las alternativas consideradas

en el problema. El modelo se resuelve en tiempos de cálculo razonables y, por lo tanto, diferentes escenarios se puede evaluar fácilmente.

Aunque la formulación propuesta se plantea para el caso de Argentina, teniendo en cuentas las fuentes de energía renovables que se adaptan mejor al país, este modelo se puede aplicar a cualquier país o región. Además, los parámetros adoptados en los ejemplos de este trabajo se pueden ajustar para casos específicos, por ejemplo: horizonte de tiempo, las fuentes de energía, demanda, los parámetros económicos, etc.

En los últimos años, varios trabajos afrontan la problemática energética en busca de reemplazar los recursos fósiles con fuentes renovables, entre la larga lista de trabajos podemos mencionar a Krajacic y colaboradores [18] que estudiaron la producción de electricidad para Portugal con el fin de cubrir toda la demanda de este país a través de las fuentes de energía renovables. Utilizan modelo de simulación H2RES para integrar diversas fuentes renovables (energía eólica, solar, biomasa, hidroeléctrica y mareomotriz) en el sistema energético. Ellos también incluyen un sistema de almacenamiento, para acumular energía, con el fin de reducir el número de unidades de generación. Los autores concluyen que la herramienta tiene algunas limitaciones para hacer el análisis, señalando que no hay ninguna optimización automática basada en el precio, impacto ambiental y de impacto social con este sistema. El 100% de energía renovable se logra utilizando la energía hidroeléctrica (32%) y la eólica (24%), pero es una solución utópica y los mismos autores reconocen que hace falta un mayor análisis.

Por otra parte podemos mencionar el trabajo de Baringo y Cornejo [19] es un programa matemático estocástico con restricciones de equilibrio, buscan analizar el riesgo que implica la inversión en fuentes de energía eólica. En su propuesta consideran que la inversión en energía eólica y la operación tienen varias fuentes de incertidumbre y riesgos involucrados, tales como: a) la producción de una instalación de energía eólica lista para operar es a la vez variables e incierta, b) se espera que los costos de inversión para los parques eólicos disminuyan mientras que la tecnología adquiere madurez, pero el tiempo hasta que ese descenso se materialice es incierto y c) teniendo en cuenta las incertidumbres anteriores la ganancia para un inversor es alta y por lo tanto la gestión del riesgo debe ser tomada en cuenta. Resolvieron tres ejemplos ilustrativos considerando tres escenarios diferentes: 1) Incertidumbre en los costos de inversión, 2) Incertidumbre producción/demanda y 3) incertidumbre tanto en la producción/demanda y en el costo de inversión. Con el fin de probar el modelo, se trabaja con un caso de estudio basado en el sistema de prueba 118-Bus IEEE que comprende 54 unidades generadoras, 99 cargas, y 186 líneas de transmisión. Llegan a

la conclusión de que el modelo propuesto es manejable para los sistemas del tamaño realista, siempre que el número de escenarios considerados sea lo suficientemente pequeño. En un trabajo anterior, los investigadores del mismo grupo [20], propusieron un modelo de dos niveles para la toma de decisiones de inversiones estratégicas para un productor de energía. El nivel superior del problema representa tanto las decisiones de inversión del productor como su oferta estratégica correspondiente a cada bloque de demanda y de cada escenario. Este problema se ve limitado por una serie de problemas de nivel inferior que representan a la casación del mercado para cada bloque de la demanda y para cada escenario. El objetivo de estos problemas de niveles inferiores es maximizar el beneficio social correspondiente declarado, sin perjuicio de los equilibrios de poder, los límites de producción / demandas y restricciones de transmisión. Con esta propuesta de modelo de los autores proporcionan una metodología para ayudar a un productor en la toma de decisiones de inversión estratégicas en generación de energía, aunque resulta computacionalmente costoso, es tratable. Este trabajo es una muestra de lo importante que resulta una herramienta de análisis y planeamiento en cuanto a las inversiones.

Siguiendo con el mercado eléctrico, Pina y colaboradores [21] presentan un modelo para optimizar la inversión en el mercado eléctrico, con el empleo de fuentes renovables, tomando como caso de estudio el mercado de Portugal. Los autores toman en cuenta la dinámica horaria de la oferta y demanda de electricidad. El marco se construye combinando dos de los instrumentos de planificación energética más utilizados, TIMES como un modelo a largo plazo para la optimización de la inversión en capacidad de generación de electricidad y EnergyPLAN como un modelo a corto plazo para optimizar el funcionamiento del sistema. Ellos afirman que la combinación de ambas herramientas es fundamental para el desarrollo de las vías para la transición a los sistemas de electricidad con altas penetraciones de las fuentes de energía renovables y que la metodología propuesta se puede aplicar también a estudiar la introducción de diferentes medidas de eficiencia energética.

Mondal y colaboradores [22] evalúa las estrategias para el futuro suministro de energía del sector eléctrico para los Emiratos Árabes Unidos (EAU). Los análisis se llevan a cabo mediante la aplicación de modelos MARKAL. Estos modelos consideran las tecnologías disponibles, la posibilidad de importación, las restricciones de producción, la demanda y provee información sobre los impactos ambientales, el consumo energético y los costos involucrados en la actividad. Plantean diferentes políticas como una limitación de las emisiones de CO₂, objetivos de producción de energía renovable, y reducción al mínimo de subsidio a través de la evaluación

comparativa internacional de los precios del gas doméstico y las aplican para realizar un análisis. Los resultados de la simulación muestran que las políticas de desarrollo energético sostenibles alternativos muestran que el costo total del sistema no es significativamente mayor que aun sistema tradicional.

Los trabajos analizados previamente presentan un análisis centrado en el mercado eléctrico, existen pocos trabajos que intenten incluir o integrar varios mercados energéticos. Podemos mencionar el trabajo de Connolly y colaboradores [23][23] generan un modelo para satisfacer las demandas de energía de Irlanda por medio de fuentes renovables. Según estos autores, en Irlanda el 96% de la demanda de energía es satisfecha por combustibles fósiles, de los que se importa el 89%. La herramienta EnergyPLAN se utiliza para realizar el estudio e incluyen la electricidad, la calefacción y el transporte como los sectores consumidores. Las fuentes renovables consideradas en este estudio son la biomasa, la energía solar, la energía mareomotriz, energía eólica y la energía hidroeléctrica. También aumentan las capacidades en el sistema de almacenamiento de energía. Proponen cuatro escenarios: 1) 100% renovables a partir de biomasa, 2) 100% basadas en hidrógeno, 3) 100% renovable maximizando la generación de electricidad y 4) la combinación de los otros tres escenarios. Los resultados obtenidos son muy diferentes para cada escenario. Los autores consideran que las demandas de energía son invariantes desde el año 2007 y el análisis se realizó sobre la base de las perspectivas técnicas y de recursos no desde un punto de vista económico. Como señalaron los autores del estudio es útil para fines ilustrativos.

Varios trabajos análogos se pueden encontrar en la literatura, por mencionar algunos de ellos, Cosic y colaboradores [24] analizan el caso de un sistema de energía 100% renovable para Macedonia, Lund y Mathiensen [25] llevan a cabo un estudio similar en Dinamarca y Mason y colaboradores [26] evalúan el caso de Nueva Zelanda.

De la lectura de estos trabajos, se puede observar que se utilizan varios criterios para estudiar un sistema de energía basado en fuentes renovables. Los criterios seleccionados para llevar a cabo el estudio son fundamentales para poder tomar las decisiones correctas. Ostergaard [27] evalúa un conjunto de criterios de optimización aplicados a un modelo de sistema de energía de Dinamarca occidental; algunos de ellos eran técnicos y los demás económicos. Los más utilizados en la literatura son: las acciones de energía renovable, las emisiones de dióxido de carbono, los costos económicos, los costos sociales, los costos de energía y los costos totales. Como se puede advertir existen un gran número de combinaciones criterios - consideraciones y los resultados son totalmente dependientes de estas combinaciones, sin mencionar que

los métodos de resolución también afectan considerablemente los resultados, en su gran mayoría los modelos empleados son heurísticos, considerando el tamaño de los problemas, el gran número de variables es algo lógico buscar una forma de resolver los modelos de manera eficiente aunque no se logre garantizar una solución óptima [28], pero desde nuestro punto de vista es importante no perder de vista que el impacto de las decisiones que se tomen influenciarán de manera significativa el desarrollo de las actividades futuras; por ejemplo no es lo mismo planificar la instalación de una planta para el año que viene que una para dentro de 5 años, los recursos que reemplazan la planta planificada convenía usarlos en este momento?, porque ese ligero cambio de una solución óptima a una factible puede repercutir de forma significativa en los próximos periodos limitando la disponibilidad de un recurso que podría acarrear un mayor beneficio o incluso forzar a instalaciones que no habrían sido necesarias de haber podido modificar la situación con anticipación. Esto es a lo que aspiramos con nuestro modelo, esperamos desarrollar una herramienta con capacidad plena para permitir una toma de decisiones lo suficientemente completas y satisfactorias en todas las posibles situaciones que nos depara el futuro.

III.2. El Modelo

La composición de la matriz energética en Argentina se muestra en Figura II-1; los datos se extraen de la Secretaria de Energía de Argentina [13]. Se puede observar que las principales fuentes de energía son el gas natural y el petróleo, un 49,5% corresponde a gas natural y el petróleo se lleva un 40,9%, para que las fuentes fósiles completen un 90% de la matriz energética del país el restante 10% se compone por fuentes como el carbón, energía hidráulica y aceites vegetales, bagazo y por supuesto la energía nuclear. Ante esta cifra se puede concluir fácilmente que el uso de formas sostenibles de producción de energía es esencial para el futuro del país, sobre todo teniendo en cuenta que Argentina tiene una cantidad importante de recursos naturales renovables. En los últimos años, ha habido un esfuerzo por cambiar la estructura de la matriz mediante el empleo de energías sostenibles, como la energía eólica [29], las turbinas hidrocinéticas [30][31], los biocombustibles (bioetanol y biodiesel) [32][33][34][35] y las plantas nucleares [36]. Ha habido también una penetración de mercado de los colectores solares para la vivienda y la calefacción comercial.

En este capítulo se presenta un modelo de optimización disyuntiva multiperíodos para maximizar el valor actual neto (VAN) de las fuentes de energías (renovables y no renovables) con el fin de satisfacer a un 100% de las demandas de energía de Argentina. El modelo tiene en cuenta tres sectores:

1. Diferentes fuentes de energía, que incluyen plantas de colectoras, esto es fuentes primarias de energía.
2. Plantas de procesamiento en las que se transforman las energías primarias en una forma de energía útil (electricidad, combustibles).
3. Los consumidores finales que para este modelo están representados por la demanda de los mercados del transporte, el cual dividimos en transporte liviano y englobamos a todos los consumos de naftas y GNC y el transporte “pesado” en el cual se engloban los consumos de diesel oil y biodiesel. También se consideran los mercados eléctricos y el consumo residencial de gas natural. Por último pero no menos importante, se considera la demanda industrial.

En la Figura III-1 se exhibe una representación esquemática de la red que representa el modelo, donde se muestran los enlaces entre las fuentes y los consumidores. Por ejemplo, las semillas de soja se recogen en las granjas, y luego va a una planta de biodiesel (principalmente productores de aceites de soja), desde ese punto va a una refinería de petróleo, donde el biocombustible se mezcla en una proporción de hasta el 20%(actualmente) con el combustible fósil y luego es comercializado a los consumidores como biocombustible.

Las fuentes de energía que se incluyen en un principio en este modelo son: petróleo, gas y uranio como no renovables y biomasa, eólica, solar e hidroeléctrica como fuentes renovables. Las plantas de conversión o de transformación y las instalaciones colectoras se pueden distinguir como: refinерías de petróleo, centrales nucleares, centrales termoeléctricas, parques eólicos, plantas de bioetanol y biodiesel, turbinas hidrocínicas y colectores solares para calefacción.

En el sector de los consumidores, se incluyen las demandas industriales, eléctrica, transporte y gas natural con uso residencial y comercial. Los valores de demanda utilizados corresponden al año 2013 tomando los valores reportados por las agencias nacionales de la Argentina [37][38][39][40]. Puesto que se considera un modelo de multiperíodo hasta el año 2033, las demandas fueron estimadas y actualizan utilizando un valor constante de crecimiento que tiene en cuenta un promedio del aumento de la demanda en los últimos años. Si bien la información disponible no es suficiente como validar una tendencia del comportamiento, consideramos que es un buen punto de partida para realizar un análisis inicial.

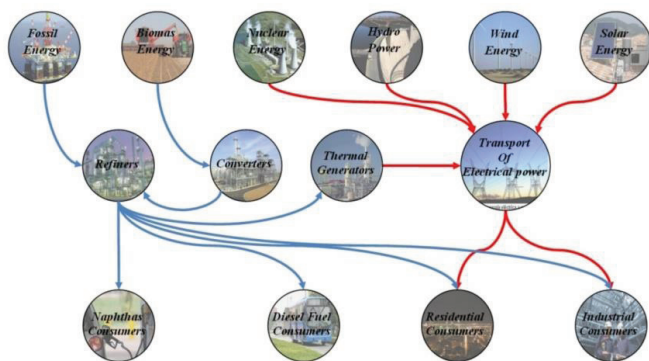


Figura III-1: La producción de energía a partir de fuentes a los consumidores.

Un factor clave en el desarrollo del modelo que se presenta en este Capítulo es el uso de la programación disyuntiva generalizada [41][42][43]. En cuanto a la programación disyuntiva facilita la representación de situaciones complejas que implica múltiples niveles de decisión de una manera muy simple, dando un modelo fácil de entender [44]. Un modelo de programación disyuntiva generalizada toma la forma siguiente (III.1):

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z &= \sum_{k \in K} C_k + f(x) \\
 \text{s.t. } r(x) &\leq 0 \\
 \bigvee_{j \in J_k} &\begin{bmatrix} Y_{j,k} \\ g(x) \leq 0 \\ C_k = \gamma_{j,k} \end{bmatrix} \forall k \in K \\
 \Omega(Y_{j,k}) &= \text{True} \\
 x \geq 0, c_k \geq 0, Y_{j,k} &\in \text{True, False}
 \end{aligned} \tag{III.1}$$

En este modelo, $x \in R^n$ es el vector de las variables continuas y $Y_{j,k}$ son variables booleanas. $c_k \in R^1$ son las variables continuas y $\gamma_{j,k}$ son valores que corresponden a la evaluación de alternativas $f: R^n \rightarrow R^1$ es el término de la función objetivo que depende de variables x y $r: R^n \in R^q$ son un conjunto general de restricciones que no dependen de las disyunciones. Este modelo general que asume $f(x)$ y $r(x)$ son funciones convexas. Una disyunción está compuesta por un conjunto de términos vinculados por el operador lógico OR. En cada término de la disyunción no es una variable booleana

$Y_{j,k}$, Un conjunto de restricciones convexas $g_{j,k} : R^n \in R^p$ y una variable de costo c_k . Si la variable booleana $Y_{j,k}$ es cierta, entonces las condiciones $g_{j,k}(x) \leq 0$ y $c_k = \gamma_{j,k}$ se deben cumplir. De lo contrario, si $Y_{j,k}$ es falsa, se ignoran las limitaciones correspondientes. Se supone que cada término de las disyunciones da lugar a una región factible no vacía. Finalmente, $\Omega(Y) = True$ es un conjunto de restricciones lógicas generadas por el uso del conjunto de variables booleanas Y .

III.2.1. Función Objetivo

La función objetivo seleccionada es la maximización del valor actual neto (III.2) a lo largo del horizonte temporal considerado (años 2013-2033). El Valor actual Neto (VAN) permite el cálculo de la presente de los flujos de inversión futuros. El VAN consiste en la actualización al tiempo 0 de futuras inversiones mediante el uso de una tasa de actualización. El modelo resulta lineal y muy sencillo de implementar, con una gran versatilidad para incluir alternativas, y permite un rápido vistazo en las respuestas provistas. Se da información económica importante en términos de la cantidad de dinero necesario para invertir en el momento actual. La dificultad de la VAN es la forma de determinar la tasa de actualización, porque a veces no está claro el mejor valor para este parámetro. Otro problema en este tipo de modelos es que sólo tiene en cuenta los aspectos económicos de las inversiones y de los costos productivos, convirtiendo el problema en un juego de costos. El factor económico es un tema muy importante, pero para la energía y las fuentes renovables resultaría muy importante incluir algunos otros objetivos, como el impacto ambiental y social.

$$NPV = \sum_{\substack{i \in Markets_{i,k} \\ k \in Markets_{i,k} \\ t}} \frac{(CSF_{i,k,t} - IMP_{i,k,t})}{(1+TI)^{t-1}} \quad (III.2)$$

Donde

$$CSF_{i,k,t} = (P_{i,k,t} - CO_{i,k,t}) \cdot x_{i,k,t} \cdot hr - CI_{i,k,t} - CS_{i,k,t} \cdot ICap_{i,k,t} - CIMP_{i,t} \cdot (x_{i,k,t}^{EP} + x_{i,k,t}^{ES}) + P_{i,k,t} \cdot x_{i,k,t}^{ES} \quad (III.3)$$

$\forall t; \forall (i,k) \in Markets_{i,k}$

$$\begin{aligned} IMP_{i,k,t} &\geq NT (CSF_{i,k,t} - CA_{i,k,t}) & \forall t; \forall (i,k) \in Markets_{i,k} \\ IMP_{i,k,t} &\geq 0 \end{aligned} \quad (III.4)$$

En la ecuación. (III.2), NPV se corresponde con el valor actual neto, que es igual a la cantidad actualizada de todos los flujos de efectivo $CSF_{i,k,t}$ durante cada periodo t menos el monto erogado por los impuestos, representado por la variable $IMP_{i,k,t}$, para cada fuente de energía i y el mercado k unidos por el subconjunto $Markets_{i,k}$. Esto es actualizar la suma de los saldos netos de cada una de las industrias en cada periodo considerado.

En la ecuación (III.3) se calcula cada flujo de caja $CSF_{i,k,t}$ como el balance financiero anual. El término $P_{i,k,t} \cdot x_{i,k,t}$ representa los ingresos obtenidos por la fuente i , el mercado de k , y el periodo t , en donde P es el precio de venta y x la cantidad vendida, el término $CO_{i,k,t} \cdot x_{i,k,t}$ corresponde al costo de operación del sistema de energía (plantas nuevas y viejas). Este término es el producto del costo de operación unitarios ($CO_{i,k,t}$) multiplicado por la producción de la planta para la fuente i , el mercado de k , y el periodo t ($x_{i,k,t}$) y las horas anuales de operación (hr) que es un parámetro y podría ser considerado como un parámetro particular para cada una de las industrias, pero en nuestro caso solo lo generalizamos para todas las industrias. La variable $CI_{i,k,t}$ es el costo de la inversión para una nueva instalación de la fuente i , el mercado de k , y el periodo t . El costo de puesta en marcha de una nueva instalación (que se considera sólo una vez en la vida de una nueva planta) se expresa por el producto entre el costo individual $CS_{i,k,t}$ multiplicado por la nueva capacidad de la planta $ICap_{i,k,t}$ para la fuente i , el mercado de k , y el periodo t . Los dos últimos términos del flujo de caja representan las posibles importaciones de energía que consideran el costo de la compra de los recursos, y permite que se considere la fuente de energía como primaria o secundaria, $x_{i,k,t}^{EP}$ y $x_{i,k,t}^{ES}$ respectivamente. Aquí necesitamos aclarar lo que es una energía primaria y una secundaria, una fuente de energía primaria es todo recurso que se encuentra como tal en forma natural, y que solo requiere de alguna forma de recolector, por ejemplo, el petróleo crudo, es posible encontrarlo de forma natural, o la energía eólica que se encuentra como tal en la naturaleza. Las energías secundarias por otra parte requieren forzosamente una conversión de algún tipo, tal es el caso de la energía eléctrica. Esta además aclarar que la sociedad actual demanda energías secundarias, en el modelo no se distingue de forma directa a los recursos energéticos, pero cada par ordenado (i,k) representa una tecnología única que permite convertir o colectar el recurso y convertirlo en una energía demandada. Con esta distinción clara, la energía primaria necesita forzosamente una conversión, mientras que la secundaria directamente puede satisfacer una fracción de la demanda, esto se refleja en las

ecuaciones donde intervienen las variables. Por último la energía secundaria importada es vendida o entregada a los consumidores, que se refleja en el producto $P_{i,k,t} \cdot X_{i,k,t}^{ES}$.

Las ecuaciones (III.4) define la variable positiva $IMP_{i,k,t}$ que es el monto que se debería pagar en impuestos al estado, el parámetro NT representa la tasa de impuestos. Estamos considerando el monto erogable de los impuestos por lo cual al ingreso bruto se le realiza el descuento de la depreciación, representada por la variable $CA_{i,k,t}$. El motivo de la desigualdad es principalmente porque si la industria es particular presenta pérdidas no debería pagar impuestos, por lo que la variable correspondiente toma el valor cero. Si bien en los casos analizados nunca se presentó esta situación, el modelo está preparado para incluirlas.

III.2.2. Las decisiones de inversión

Las inversiones en nuevas fuentes de energía se modela utilizando programación disyuntiva [45] (DP). Se modelan dos niveles de decisiones: el primer nivel permite decidir si la inversión en la fuente i se hará o no, mientras que el segundo decide su capacidad y determina los costos relacionados (III.5). Para una fuente i , el mercado de k , y el periodo $t - T_{i,k}$, Cuando la variable booleana $w_{i,k,t-T_{i,k}}$ es verdadera, esto indica que se lleva a cabo nuevas inversiones. Se tiene en cuenta la diferencia entre $t - T_{i,k}$ y representa la diferencia entre el momento en que se realiza la inversión t y el tiempo que toma para que la planta inicie su producción ($T_{i,k}$). Cuando esta variable booleana es falsa, no se realizan inversiones. En el primer caso, una vez que se ha tomado la decisión de inversión, se considera un segundo nivel de decisiones para determinar la capacidad de las nuevas instalaciones. Esta decisión se refleja en la variable booleana $y_{r,i,k,t-T_{i,k}}$, que permite la selección de diferentes capacidades del conjunto R . Se debe tener en cuenta que en este caso sólo un término debe ser cierto, sólo un elemento del conjunto R será seleccionado. La variable $ICap_{i,k,t}$ representa la capacidad de la planta y se le asigna el valor seleccionado por el parámetro $Imax_{r,i,k}$; del mismo modo $CI_{i,k,t-T_{i,k}}$ es una variable que especifica la inversión, también se le asigna el valor del parámetro $Cm_{r,i,k}$. De esta forma se logra una discretización de las curvas de costos, que en caso de contar con la posibilidad de representación continua, resultaría solo en la sustitución de los parámetros por las expresiones de las curvas.

$$\left[\begin{array}{c} \forall \\ r=1..R \end{array} \left[\begin{array}{c} W_{i,k,t-T_{i,k}} \\ Y_{r,i,k,t-T_{i,k}} \\ CI_{i,k,t-T_{i,k}} \geq Cm_{r,i,k} \\ ICap_{i,k,t} \leq Imax_{r,i,k} \\ CS_{i,k,t-1} \geq CSm_{r,i,k} \end{array} \right] \right] \forall \left[\begin{array}{c} -W_{i,k,t-T_{i,k}} \\ CI_{i,k,t-T_{i,k}} = 0 \\ ICap_{i,k,t} = 0 \\ CS_{i,k,t-1} = 0 \end{array} \right] \quad \forall t > T_{i,k}; \forall (i,k) \in Markets_{i,k} \quad (III.5)$$

III.2.3. Combustibles fósiles

La ecuación (III.6) define la cantidad ($q_{i,t}$) de los combustibles i (Nafta, gasoil, fuel oil) para el período t obtenido del fraccionamiento de una cierta cantidad de petróleo crudo ($q_{p,t}$). El parámetro $Fraction_i$ contiene información de un rendimiento aproximado de la destilación del crudo. Los valores de $Fraction_i$ se estimaron a partir de los informes del Instituto de la Argentina de Petróleo y Gas (Instituto Argentino de Petróleo y Gas (GPI)) [46] y representan en forma practica el rendimiento de las plantas de destilación.

$$q_{i,t} = Fraction_i \cdot q_{p,t} \quad \forall t; \forall i \in Distillates \quad (III.6)$$

III.2.4. Demanda y la capacidad, restricciones

Las demandas de energía se estimaron para cada mercado k en los períodos futuros t (Parámetro $D_{k,t}$) se asumió un crecimiento lineal para cada período, si bien no se cuenta con la información estadística suficiente como para garantizar una correcta estimación a tan largo horizonte de estudio, consideramos que resulta al menos de un buen punto de partida. La ecuación (II.7) expresa la demanda de energía del mercado k en período t ($D_{k,t}$), que se estima como la demanda de energía en el período inicial ($D0_k$), más el número de períodos de menos 1 vez el coeficiente promedio de incremento (α_k), que es una estimación basada en los datos obtenidos en años anteriores. Sin embargo distintos valores se pueden proponer a α_k y de esta forma buscar analizar el impacto del crecimiento de la demanda, es más se puede proponer otras formas de estimar la demanda, siempre que se puede simplificar la expresión a una que solo incluya datos históricos y el tiempo y que no considere variables propias del modelo.

$$D_{k,t} = D0_k + \alpha_k \cdot (t-1) \quad \forall t; \forall k \quad (III.7)$$

Las demandas de petróleo, gas y electricidad para la Argentina en el período inicial (año 2013) se extrajeron de los datos estadísticos proporcionados por la

Secretaría de Energía Argentina [38]. Los datos de consumo de los sectores se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) [39] en el que se clasifican los consumos de energía por los diferentes usos (doméstico, industrial, de transporte, etc.). Los datos estadísticos sobre el mercado eléctrico se tomaron de los informes anuales del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y del Mercado Eléctrico Mayorista Sistema Patagónico (MEMSP) [40]. Esta organización proporciona informes mensuales sobre la producción y la demanda de electricidad, exportación e importación de energía, el consumo de bombeo, las proyecciones para el sector y otra información sobre el sector eléctrico. Estos informes discriminan también la fuente de la energía: los fósiles, la energía hidráulica, la energía eólica. De todos los mercados considerados el mercado eléctrico es el que consta de mayor cantidad de información y mejor ordenada.

La ecuación (III.8) establece que la suma de los flujos para un mercado particular k en cada período t debe ser igual a la demanda de ese mercado menos el aporte de las importaciones.

$$\sum_{i \in \text{Markets}_{i,k}} f_{i,k} \cdot x_{i,k,t} \cdot hr = D_{k,t} - \sum_{i \in \text{Markets}_{i,k}} f_{i,k} \cdot x_{i,k,t}^{ES} \quad \forall t; \forall k \quad (\text{III.8})$$

En la ecuación (III.8), $f_{i,k}$ es un parámetro que relaciona la fuente de energía i al mercado k teniendo en cuenta el factor de conversión rendimiento y las conversiones de unidades necesarias entre ambos. Por ejemplo, el parámetro $f_{GN,TN}$ se refiere al gas natural como fuente de energía para el mercado del transporte; su valor se calcula como la relación entre el poder calorífico estándar del gas en comparación con la gasolina, y brinda información sobre a cuántos litros de nafta equivaldría un m^3 de gas natural. Para el caso del uranio estimamos $f_{Nu,EE}$ basado del poder calorífico y la eficiencia de las plantas nucleares [47].

La ecuación (III.9) establece que la producción de energía tiene un límite de capacidad representado por la variable $Cap_{i,k,t}$, esta capacidad varía de un período a otro de acuerdo con las inversiones realizadas. Se considera que si se importa energía primaria esta debe ser procesada, por lo que la capacidad debe ser suficiente.

$$f_{i,k} \cdot x_{i,k,t} \leq Cap_{i,k,t} \quad \forall t; \forall (i,k) \in \text{Markets}_{i,k} \quad (\text{III.9})$$

Las eq (III.10) y (III.11) tienen en cuenta que hay un período de tiempo desde el momento en que se decide invertir en una fuente de energía y cuando se comienza a producir, lo que refleja el momento de la construcción del proyecto y la puesta en

marcha de las instalaciones. Este período de tiempo se expresa por el parámetro $T_{i,k}$, que es un factor que depende de la fuente de energía y su destino. La expresión (III.10) fuerza que la capacidad instalada de fuente i para el mercado k en el momento t ($Cap_{i,k,t}$) sea igual a la capacidad inicial estimada ($Cap0_{i,k}$); mientras que la ecuación (III.11) realiza una acumulación de las capacidades instaladas en el tiempo t mayor que $T_{i,k}$ para la fuente i y el mercado k . Esto es que la capacidad ($Cap_{i,k,t}$) es igual a la capacidad en el momento $t-1$ ($Cap_{i,k,t-1}$) más el incremento de la capacidad que se decidió en tiempo $t-T_{i,k}$ ($ICap_{i,k,t}$) (Ver ecuación III.5).

$$Cap_{i,k,t} = Cap0_{i,k} \quad \forall t \leq T_{i,k}; \forall (i,k) \in Markets_{i,k} \quad (III.10)$$

$$Cap_{i,k,t} = Cap_{i,k,t-1} + ICap_{i,k,t} \quad \forall t > T_{i,k}; \forall (i,k) \in Markets_{i,k} \quad (III.11)$$

III.2.5. Disponibilidad, restricciones

Las ecuaciones de esta sección buscan representar los límites de disponibilidad para cada fuente, por ejemplo, la cantidad producida por el petróleo no puede exceder el volumen de las reservas disponibles. En el caso de la fuente de las energías renovables las limitaciones son diferentes por que los recursos en teoría no son los que se agotan, sino que las regiones donde es posible aprovechar los recursos es limitada. La instalación de molinos de viento se ve limitado por la zona de libre disposición para ellos. Para este caso, consideramos regiones que tienen corrientes de aire cuya velocidad se mantiene en un 80% del tiempo anual dentro del rango de las velocidades de operación de las turbinas eólicas. Para las fuentes de biomasa, los cultivos de soja para biodiesel y caña de azúcar o el maíz para el etanol, se tienen en cuenta que la producción está limitada por la cantidad media de la superficie, el rendimiento y el volumen de la cosecha anual que se dispone para la producción de combustible. Pero estos recursos de ninguna forma se agotan en el tiempo, sino que año a año se renuevan, el viento continúa soplando, las cosechas y las zafras se realizan en ciclos, muy diferente a lo que sucede con los recursos fósiles, que si no se realizan nuevos descubrimientos para reponer las reservas consumidas sus volúmenes caen.

La ecuación (III.12) define la producción de fuente de energía i en período t , $q_{i,t}$ es igual a la suma en todos los mercados k de los flujos $x_{i,k,t}$ para cada fuente i en período t por las horas de operación anuales. La ecuación (III.13) establece que la cantidad producida de fuentes i debe ser menor o igual a las reservas disponibles para

esa fuente i en período t , representado por la variable $RD_{i,t}$ más las importaciones de energía primaria en este periodo.

$$q_{i,t} = \sum_{k \in \text{Markets}_{i,k}} x_{i,k,t} \cdot hr \quad \forall t; \forall i \quad (\text{III.12})$$

$$q_{i,t} \leq RD_{i,t} + \sum_k x_{i,k,t}^{EP} \quad \forall i \in NR \quad (\text{III.13})$$

La ecuación (III.14) restringe la posibilidad de instalar fuentes de energía renovables. El valor del parámetro CD_i limita la capacidad de la instalación, por ejemplo, para el caso de biodiesel a partir de soja, CD_{BD} corresponde al 1% del área total cosechada multiplicada por el rendimiento medio por hectárea por el rendimiento estimado de biodiesel a partir de este cultivo. Estos factores se tomarán de acuerdo con los valores sugeridos por Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) [32]. Un procedimiento similar se aplicó con la caña de azúcar como materia prima y para el caso del maíz se empleó un reporte de MAIZAR [33], una organización que se encarga de dar difusión a la actualidad de los mercados relacionados con el maíz.

$$\sum_{k \in \text{Markets}_{i,k}} \frac{Cap_{i,k,t}}{f_{i,k}} \leq CD_i \quad \forall t; \forall i \notin NR \quad (\text{III.14})$$

Para los molinos eólicos los datos de instalación se extrajeron de la Cámara Argentina de Energías Renovables, que presenta una serie de mapas que muestran las zonas con velocidades medias a unos 50 metros del nivel del suelo (ver Figura III-2 y Figura III-3). La Figura III-2 (a) muestra en amarillo las regiones que serían adecuados para los molinos de viento mientras Figura III-2 (b) muestra la velocidad media anual del viento a 50 m por encima del nivel del suelo.

Para la energía solar se realizó un análisis similar, el modelo actual sólo tiene en cuenta la aplicación en la calefacción residencial y comercial. Por lo tanto, si se toma el valor promedio diario de radiación solar global, recibida en una superficie horizontal (Figura III-3), es posible determinar las regiones factibles para el uso de dicha energía. Por otra parte, teniendo en cuenta la densidad de población y una familia tipo (4 miembros), se puede estimar el número de posibles instalaciones. Además, los datos de la Comisión Nacional de Energía Atómica (Expediente 1213-D-06) es posible calcular el volumen de gas natural equivalente a la instalación de calefacción solar.

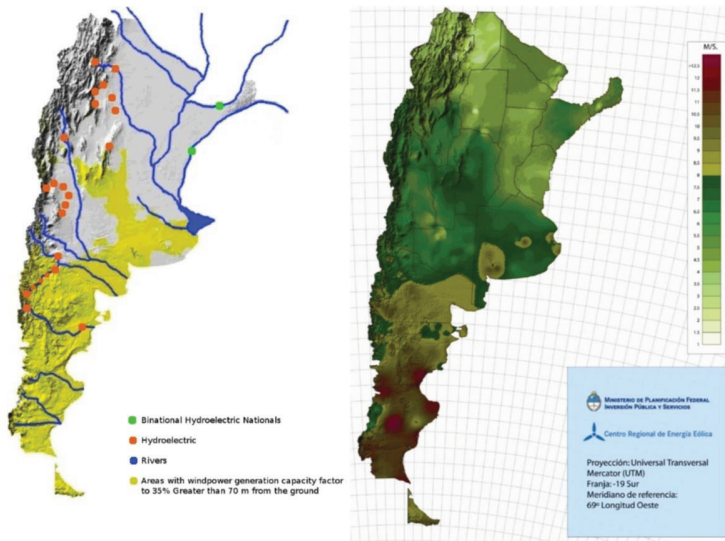


Figura III-2: (a) Mapa de los ríos, presas y la capacidad de energía eólica. (b) Mapa de velocidad media anual del viento a 50 m.

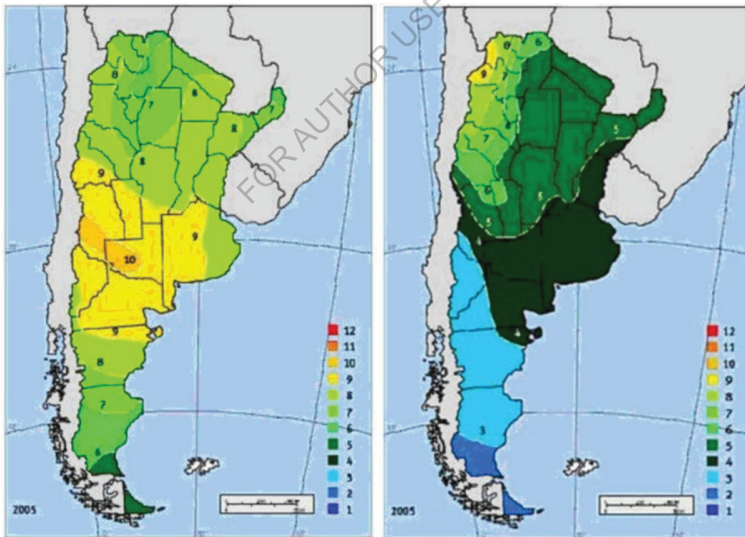


Figura III-3: Radiación solar media (a) Radiación media en enero. (b) radiación media de julio.

Aun cuando la tecnología es relativamente nueva y no es ampliamente adoptado aún, se considera el uso de turbinas hidrocínéticas para la generación de electricidad, debido a la cantidad de grandes ríos (Figura III-2 (a)) con valores constantes e importantes de caudales de agua durante año. Realizando un análisis de los caudales de los ríos, la geografía de estos y la potencia que una turbina hidrocínética puede proporcionar hemos propuesto un límite superior en el número de instalaciones y por lo tanto la energía eléctrica suministrada por esta tecnología. Este límite está sujeto a una revisión mucho más profundo, además que es posible que diferentes tipos de turbinas sean utilizadas en diferentes ríos.

La ecuación (III.15) indica que las reservas ($RD_{i,t=1}$) al comienzo del horizonte de tiempo, serán igual a las reservas iniciales ($CD_{i,t}$) limitadas por un parámetro ε que permitirá analizar como la disponibilidad de los recursos no renovables afecta la planificación de las instalaciones. La ecuación (III.16) realiza un balance sobre las reservas disponibles en el período t , teniendo en cuenta las reservas en el período anterior ($RD_{i,t-1}$) y la cantidad producida por la fuente i en el período $t-1$ ($q_{i,t-1}$), además de permitir la reposición de las reservas por medio de descubrimientos de nuevas reservas y que entren en consideración en período t ($NewR_{i,t}$). Para que la producción del periodo anterior no se descuenten de las reservas en el periodo vigente se consideran las importaciones de las energías primarias del periodo anterior en el balance de los recursos, por ahora solo se permite la importación de energías primarias no renovables, para las renovables implicaría la importación de materia prima. La ecuación (III.17) permitirá proponer políticas de conservación de los recursos no renovables limitando la cantidad disponible o exigiendo cierta conservación al finalizar el horizonte de estudio.

$$RD_{i,2013} = CD_i \quad \forall i \in NR \quad (III.15)$$

$$RD_{i,t} = RD_{i,t-1} - q_{i,t-1} + NewR_{i,t} + \sum_k X_{i,k,t-1}^{EP} \quad \forall t > 2013; \forall i \in NR \quad (III.16)$$

$$RD_{i,2033} \geq (1 - \varepsilon_i) \cdot CD_i \quad \forall i \in NR \quad (III.17)$$

III.2.6. Restricciones para los biocombustibles

Debido a la legislación argentina y las condiciones de funcionamiento de los motores, existen límites en cuanto a la cantidad de biocombustible que se puede utilizar, aunque existen motores que pueden utilizar sólo este tipo de combustible, el

parque automotor argentino trabaja principalmente con motores que requieren combustibles fósiles para funcionar adecuadamente. Teniendo en cuenta esta situación, los biocombustibles producidos en nuestro país se mezclan con fósiles hasta una cierta proporción; esto se refleja en la ecuación (III.18) para el bioetanol, donde se restringe la relación entre la producción de gasolina y bioetanol, ya sea que provenga de caña de azúcar o de maíz, mediante el parámetro $BioNF$ (en nuestro caso $BioNF = 0,25$). La ecuación (III.19) para el biodiesel.

$$q_{BEC,t} + q_{BEM,t} \leq BioNF \cdot q_{NF,t} \quad \forall t \quad (III.18)$$

$$q_{BD,t} \leq BioD \cdot q_{GO,t} \quad \forall t \quad (III.19)$$

III.2.7. Cálculo de Depreciación

El cálculo de la amortización se realiza asumiendo un método lineal en función de la cantidad deducible. En el caso de Argentina se considera que el 85% del costo total de la propiedad es el monto deducible y dividido por los años de vida útil del bien es la cuota de la amortización. La amortización se paga sólo durante la vida útil del activo, pero es bien sabido que la vida financiera rara vez coincide con la vida real del bien.

En ausencia de nuevas inversiones el costo de amortización ($CA_{i,k,t}$) es cero, como se indica en la ecuación (III.20), cuando las nuevas instalaciones comienzan la producción, se permite el cálculo de la depreciación, se considera para las nuevas inversiones ($CI_{i,k,t}$) Hasta que completen su período de vida, el cual está representado por el parámetro $TVU_{i,k}$, por tanto en la ecuación (III.21) tenemos el cálculo de la cuota de amortización para una instalación que inicia su actividad productiva en el periodo t y al mismo tiempo permite la acumulación de las pasadas instalaciones. Cumplida la vida útil se tiene que dejar de considerar la amortización por lo que en la ecuación

(III.22) tenemos el término $\frac{0.85 \cdot (CI_{i,k,t-T_{i,k}} - TVU_{i,k})}{TVU_{i,k}}$ que está restando el monto correspondiente a una instalación que ya cumplió su vida útil fiscal.

$$CA_{i,k,t} = 0 \quad \forall t \leq T_{i,k}, \forall (i,k) \in Markets_{i,k} \quad (III.20)$$

$$CA_{i,k,t} = CA_{i,k,t-1} + \frac{0.85 \cdot CI_{i,k,t-T_{i,k}}}{TVU_{i,k}} \quad \forall t \leq TVU_{i,k}, \forall (i,k) \in Markets_{i,k} \quad (III.21)$$

$$CA_{i,k,t} = CA_{i,k,t-1} + \frac{0.85 \cdot (CI_{i,k,t-T_{i,k}} - CI_{i,k,t-T_{i,k}-TVU_{i,k}})}{TVU_{i,k}} \quad (III.22)$$

$\forall t > TVU_{i,k}, \forall (i,k) \in Markets_{i,k}$

III.2.8. Límite superior de Inversiones

La ecuación (III.23) impone un límite en la cantidad de dinero que se puede llegar a invertir en una fuente de energía i para un mercado k en el periodo t a través del parámetro $Clup_{i,k,t}$. Este parámetro es totalmente ajustable y se considera útil para analizar posibles cambios en las instalaciones teniendo en mente la disponibilidad de inversores.

$$CI_{i,k,t} \leq Clup_{i,k,t} \quad \forall (i,k) \in Markets_{i,k}, \quad \forall t \quad (III.23)$$

FOR AUTHOR USE ONLY

Capítulo IV. Resultados

El modelo lineal disyuntivo multiperíodo se implementó en GAMS, se aplicó una relajación Convex Hull [48]. En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego de evaluar diversos escenarios en los que se contemplaron diferentes posibilidades respecto a las reservas de petróleo y gas en Argentina.

Con el objetivo de corroborar el comportamiento del modelo propuesto, se han seleccionado los datos requeridos desde el año 2000 al 2010 y se comparan los resultados obtenidos con la situación real en la Argentina en el sector energético. Con el fin de realizar el análisis, se han hecho algunas suposiciones para ajustar el modelo a las políticas e incentivos en materia de energía, de la siguiente manera:

- El uso de la energía solar y las turbinas hidrocinéticas se ven desfavorecidas porque no existen incentivos para utilizar estas tecnologías y son de poca divulgación;
- La cantidad máxima de dinero para invertir en energía eólica se vio limitada por una cota superior teniendo en cuenta los subsidios otorgados por el gobierno nacional en un programa especial llamado GENREN.
- Durante un tiempo, hubo grandes incentivos económicos y marcadas ventajas para las inversiones privadas en plantas de biodiesel a partir de soja como materia prima, pero esto no fue el caso de la producción de bioetanol.

Con estas consideraciones se realizaron corridas del modelo, y los resultados obtenidos se resumen en la Tabla IV-1 y Figura IV-1.

Tabla IV-1: Inversiones realizadas desde el año 2000 hasta 2010 en Energía de Argentina.

Fuente	Mercado	2000		2001		2004		2007		2007	
		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Fuel Oil	Eléctrico	59.44	0.77					59.44	0.77	59.44	0.77
Gas Natural	Eléctrico	4.25	0.01	4.25	0.01	4.25	0.01	4.25	0.01	4.25	0.01
Gas Natural	Residencial	622.18	183.7								
Bio Diesel	Transporte			144.34	135.94	20.43	18.92				
Eólico	Eléctrico					889.64	99.51				

De la Tabla IV-1 se puede ver que hubo inversiones en el gas natural para la calefacción comercial y residencial lo que se refleja en un aumento del consumo de este combustible que se puede apreciar en la Figura IV-1; esto se reflejó en el inicio de operación de un gasoducto en el año 2000 y como consecuencia el consumo de gas natural para calefacción aumentó alrededor de un 35% desde el año 2003 [49]. Algunas termogeneradoras fueron adaptadas, para emplear el gas disponible, con el fin de

satisfacer la creciente demanda de electricidad. Se realizaron varias inversiones en termogeneradoras con fuel oil como combustible para satisfacer la demanda en el mercado eléctrico, que continuamente creció en promedio anual del 4% a partir de 2003 [40]. Durante esos años, los inversionistas privados instalaron plantas de biodiesel con soja como materia prima. La producción de biodiesel creció de 260 mil toneladas en el año 2002 hasta el 2000 mil toneladas en 2009 [35]. Si bien el modelo predice la cantidad a producir, el tiempo para hacer la inversión no coincidió con el real. Una explicación para este comportamiento es que en la realidad existen varios factores que pueden llevar a un retraso de los proyectos. De la Tabla IV-1 se puede observar también una instalación para la energía eólica debido a un programa subvencionado por el gobierno (Programa GENREN [50]). La instalación es de 200 MWh de energía eólica, aunque el programa se puso en marcha por el 2006, la ejecución se inició en 2010, el modelo predice que la inversión se debió realizar en el año 2004 y como consecuencia la producción se inició en el 2008. Si bien el análisis de los resultados obtenidos es algo superficial no contamos con la suficiente información para profundizarlo más y creemos que el modelo proporciona un ajuste adecuado y puede predecir la inversión y la capacidad necesaria para el sector de la energía con una buena aproximación.

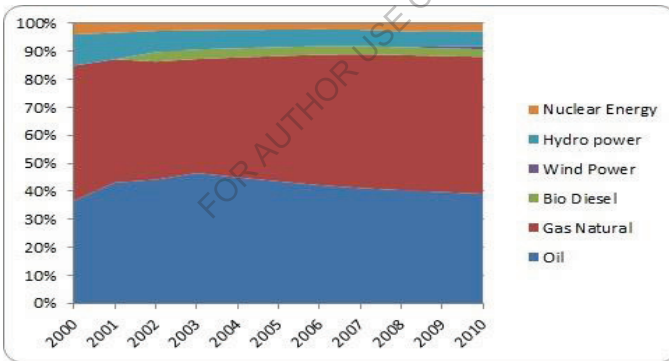


Figura IV-1: Evolución de la matriz Energética de Argentina desde el año 2000 hasta 2010.

Los escenarios propuestos se basan, fundamentalmente, en la variación de la disponibilidad de las reservas de combustibles fósiles y la variabilidad de los precios. Esto fue sugerido basándonos en el hecho de que desde hace unas décadas la matriz energética argentina depende en gran medida de los combustibles fósiles. Otra razón importante es la incertidumbre sobre las reservas de petróleo y gas shale, técnicamente recuperables pero que aún no se han incluido dentro de las reservas declaradas por el

organismo correspondiente. La Argentina, con la información actual, esta ranqueada cuarta en cuanto a las reservas de Shell-oil y el segundo en reservas de Shell-gas.

1. No se realizan descubrimiento de nuevas reservas de combustibles fósiles, y las reservas actuales se encuentran disponibles y se pueden utilizar a lo largo del horizonte de estudio. Se va forzando un incremento de las reservas residuales al finalizar el horizonte de estudio.
2. Las reservas de gas natural se incrementan 50% con respecto a las reservas iniciales en el año 2020. Este escenario fue propuesto en base a las expectativas en la producción de las reservas de Shell-gas.
3. Las reservas de gas natural se incrementaron 50% con respecto a las reservas iniciales en el año 2020, se produce un incremento del 400% en el costo del gas natural y el 30% de las reservas totales deben permanecer al final del horizonte de estudio. Dado que el gas natural es la fuente de energía más barata y la más empleada, al proponer esta situación la idea fue explorar el comportamiento de las inversiones cuando el precio gas natural aumenta fuertemente.

IV.1. Escenario 1

Para este escenario se planteó analizar como se ve afectada la solución con la disminución de la disponibilidad de las reservas, así se inició el análisis suponiendo que se disponen de la totalidad de las reservas para ser empleadas a lo largo del horizonte de estudio y se va disminuyendo en 5% la disponibilidad hasta llegar a un punto de infactibilidad. La infactibilidad se produce por no poder cubrir la demanda en su totalidad, lo cual resulta lógico ya que no se está permitiendo un reemplazo total de las fuentes energéticas, y las capacidades permitidas para las fuentes renovables no alcanzarían para satisfacer en totalidad la demanda energética. Para lograr una matriz energética al 100% renovable sería imperativo incluir una mayor capacidad de instalaciones renovables e incluir más alternativas energéticas para evitar sobrecargar las que se consideran y poder alcanzar cubrir todas las demandas. El mercado más limitado para alcanzar esta meta es el del transporte, para alcanzar una matriz 100% renovable se debería asumir el reemplazo de los vehículos por alternativos, incrementar la cantidad de grano disponible para las industrias de biocombustibles, incluir vehículos solares y/o eléctricos.

Las funciones objetivos obtenidas se presentan en la Tabla IV-2, y resulta interesante que la disminución en la disponibilidad del petróleo no afecte de manera significativa la función objetivo, mientras que una pequeña variación en la cantidad de gas natural afecta significativamente a la función objetivo, cuando se dispone solo de un 80% de las reservas de gas natural se aprecia como comienza a influir la cantidad

de petróleo disponible, esto es porque ambos recursos son sustitutos en varios mercados y ante la escases del gas el modelo opta por el empleo del petróleo y cuando este también escasea modifica los flujos los flujos de energía, y llega al punto de no poder satisfacer las demandas.

Tabla IV-2: Función objetivo en millones de dólares a medida que se limita la disponibilidad de los recursos fósiles.

		Disponibilidad de Petróleo				
		100%	95%	90%	85%	80%
Disponibilidad de Gas Natural	100%	61989	61990	61990	61989	61990
	95%	61188	61188	61188	61188	61188
	90%	60301	60301	60301	60301	60301
	85%	59107	59107	59107	59107	59022
	80%	57049	56821	56325	55606	

Se va a presentar la evolución de la matriz energética para mostrar el empleo de los recursos que el modelo realiza ante las diferentes alternativas, también se presentaran tablas donde se compararan las instalaciones realizadas en el espectro analizado de disponibilidad de recursos fósiles. Para iniciar en la Figura IV-2 se puede analizar el empleo de los recursos a lo largo del horizonte de estudio para el caso de contar con una disponibilidad total en cuanto a los recursos fósiles. Tomaremos este caso como base y se irá disminuyendo la cantidad de gas natural hasta el punto de infactibilidad y se volverá a iniciar esta vez disminuyendo la cantidad disponible de petróleo y se analizaran las inversiones realizadas, tanto la capacidad como el momento en que se realizan.

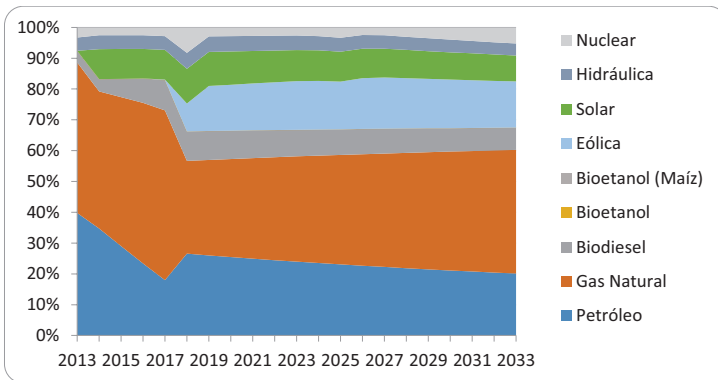


Figura IV-2: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 100% GN).

En la Figura IV-3 se presenta la evolución de la matriz energética considerando que se dispone de un 95% de las reservas de gas natural reportadas actualmente para ser empleadas a lo largo del horizonte de estudio. El cambio más visible es la variación en el empleo de la energía nuclear, que resulta ser empleada ante la disminución de la disponibilidad de gas natural, pero solo se activa la capacidad actualmente disponible, y solo durante un tiempo muy limitado mientras se culmina la puesta en marcha de las instalaciones de los molinos eólicos.

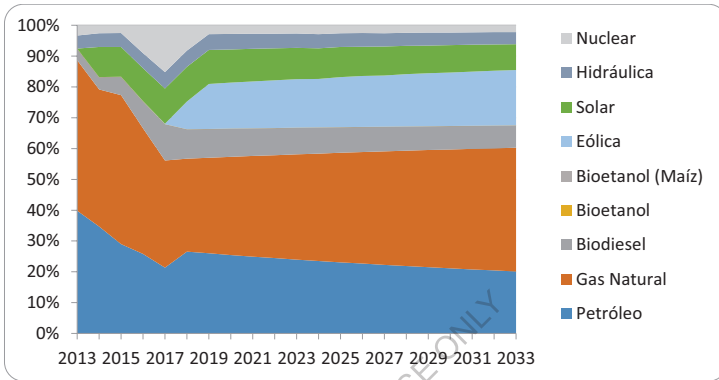


Figura IV-3: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 95% GN).

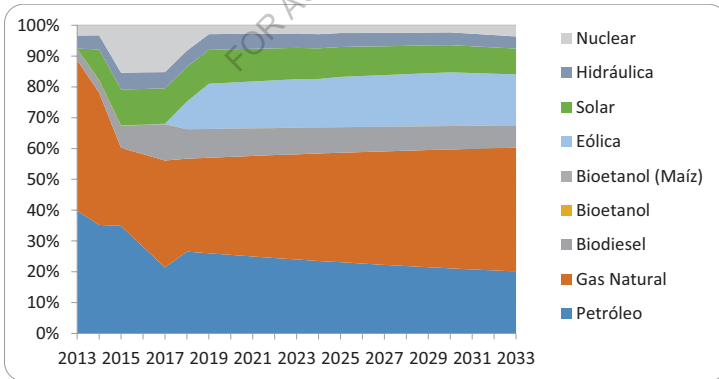


Figura IV-4: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 90% GN).

En el caso de contar con un 90% de las reservas de gas natural, o sea incluso una cantidad a un menor de gas natural para emplear a lo largo del horizonte de estudio.

Como se puede ver en la Figura IV-4 se continua con la tendencia de utilizar la energía nuclear, y amplía el tiempo que mantiene activa esta fuente. Hasta el momento es de remarcar que no se empleando bioetanol, esto es porque se está empleando el gas natural para el transporte como GNC y para reemplazar el diésel se emplea biodiesel, no hay que olvidar que de la destilación del crudo de acuerdo con el modelo se obtiene naftas, diésel y fuel oíl, por lo que se ve forzado a emplear los tres productos de manera equitativa, si requiere una mayor cantidad de fuel oíl, esto impacta en que produce más naftas y diésel por ejemplo.

En la Figura IV-5 se presenta la relación porcentual de los empleos de la energía a través del horizonte de estudio, en este caso se dispone de solo un 85% de las reservas de gas natural y se puede apreciar fácilmente que se anticipa el uso de la energía nuclear, con lo que disminuye aún más rápido el uso de gas natural y al final del horizonte de estudio se emplea bioetanol, esto es por que disminuye la cantidad de gas que emplea como GNC, también incrementa el uso de petróleo cubriendo el mercado de diésel y decae el empleo del biodiesel.

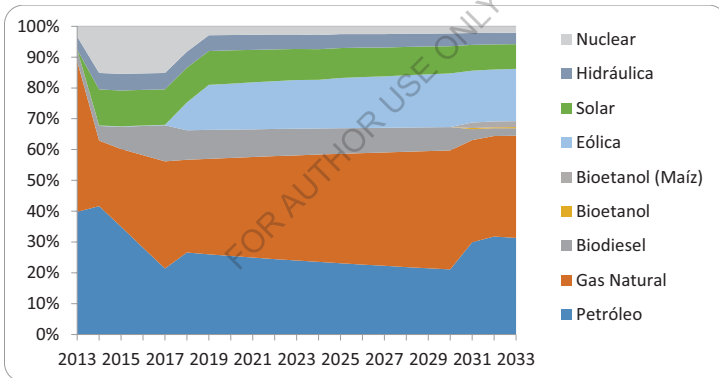


Figura IV-5: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 85% GN).

En la Figura IV-6 se muestra el empleo de los recursos para el caso de contar con solo un 80% de las reservas actuales de gas natural, se puede apreciar que la principal variación con respecto al caso de 85% de disponibilidad de gas natural es la anticipación del empleo de bioetanol y naftas para el transporte con lo que disminuye la cantidad de GNC consumida, pero incrementa la cantidad de petróleo y fuerza a disminuir la cantidad de biodiesel.

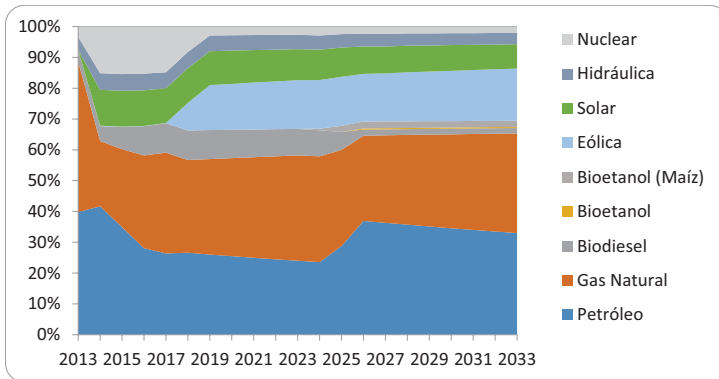


Figura IV-6: Evolución de la matriz energética argentina (100% P - 80% GN).

Pasamos a modificar la cantidad disponible de petróleo, ahora como se puede apreciar en la Tabla IV-1 la disminución de la disponibilidad de petróleo no afecta significativamente el problema, las inversiones se mantienen y las relaciones de empleo de los recursos se mantienen. La única diferencia se produce en el empleo de bioetanol para el caso de disponer de 80% de las reservas de gas y se va disminuyendo la cantidad de petróleo disponible. Así en la Figura IV-7 podemos apreciar cómo se va anticipando el empleo de etanol, como el empleo de petróleo fuerza una disminución en el empleo de biodiesel.

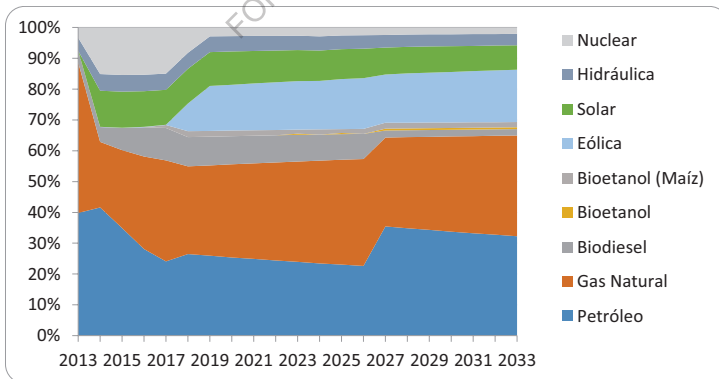


Figura IV-7: Evolución de la matriz energética argentina (95% P - 80% GN).

En la Figura IV-8 se presenta el caso en que se dispone de 90% de las reservas de petróleo y se mantiene el 80% de la disponibilidad de gas natural, continua el incremento de la cantidad empleada de bioetanol logrando un pico en el consumo de esta fuente al año 2006. Se emplea cantidades crecientes de bioetanol de ambas fuentes.

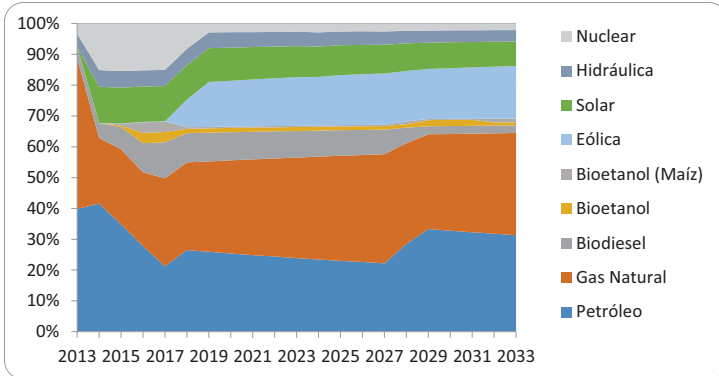


Figura IV-8: Evolución de la matriz energética argentina (90% P - 80% GN).

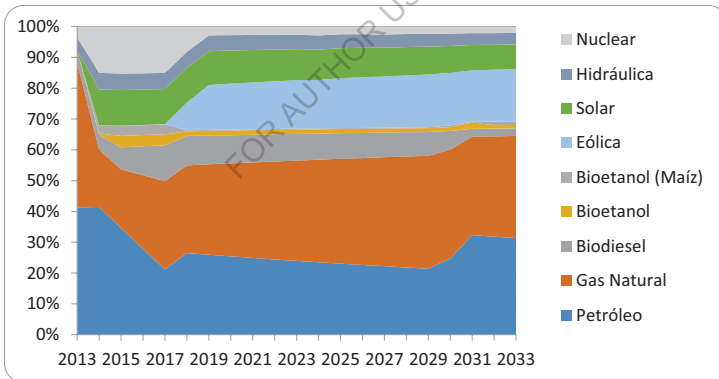


Figura IV-9: Evolución de la matriz energética argentina (85% P - 80% GN).

En la Figura IV-9 se presenta las relaciones del empleo de las fuentes de energía para el caso de disponer de un 85% de reservas de petróleo y un 80% de gas, la tendencia continua en cuanto al empleo de las fuentes de energía, usa la energía nuclear mientras se concluye la instalación de los parques eólicos, se emplea en bioetanol para disminuir la cantidad de GNC empleada, un incremento en el empleo de petróleo lleva

a la disminución en el empleo de biodiesel, se instala rápidamente lo relacionado a energía solar e hidráulica al igual que los casos anteriores.

Con esta visión sobre el empleo de los recursos vamos a lo realmente importante, como se ven afectadas las instalaciones y los costos que se asumen para lograr satisfacer la demanda energética. En la Tabla IV-3 se presentan las inversiones que se realizan de forma invariable ante las combinaciones posibles de las disponibilidades de petróleo y gas natural. Esto lleva a concluir de forma contundente que estas instalaciones se deben realizar sin margen de discusión. Se puede observar el abundante empleo del biodiesel y no solo el volumen sino también la prontitud en su empleo, en cuanto a los parques eólicos vemos que realiza dos instalaciones bastante importantes, y por otro lado decide completar la instalación de colectores solares de forma total y en cuanto puede tomar la decisión.

Tabla IV-3: Inversiones Base en todas las combinaciones de disponibilidades para el escenario 1.

		2013		2014		2015	
		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
BioDiesel	Transporte	144,34	135,94	144,34	135,94	144,34	135,94
Eólica	Eléctrico	2335,3	522,4	2335,3	522,4		
Solar	Residencial	414,13	695,55				

Para iniciar el análisis de las instalaciones se presentan tablas en donde se detalla el momento, la capacidad, el costo de inversión, y al caso de estudio al que pertenece. Resulta muy evidente de la Tabla IV-4 que presenta los resultados para el bioetanol, como se adelanta y/o incrementa la capacidad instalada a medida que las disponibilidades decrecen, resulta interesante el contraste del caso de cuando se dispone del 85% de las reservas de gas natural cuando se dispone del 100% de petróleo tenemos una instalación de bioetanol de menor capacidad pero se dispone de dos años antes que en comparación al caso de cuando se dispone de la misma cantidad de gas natural pero se dispone del 95% de petróleo, cuando se instala el doble pero como ya se mencionó se realiza dos años más tarde. Para los casos en que se dispone de 80% de las reservas de gas natural se produce una disminución en la función objetivo a medida que disminuye la disponibilidad de petróleo lo que se puede evidenciar por el incremento de las instalaciones en bioetanol.

Para las instalaciones de turbinas hidrocinéticas, se puede concluir desde la Tabla IV-5 que si bien siempre decide instalar bastante temprano en el horizonte de estudio, a medida que puede consumir menos hidrocarburos adelanta más en el tiempo

la instalación de estos colectores. Se puede decir que la instalación de las turbinas hidrocínicas solo se ve afectada por la variación de la disponibilidad de gas natural.

Tabla IV-4: Inversiones de Bioetanol para cada caso.

Disponibilidad de Petróleo		100%				95%				90%				85%				80%	
		85%		80%		85%		80%		85%		80%		85%		80%		85%	
Disponibilidad de Gas		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Bioetanol																			
Bioetanol (Maíz)	2013															484,69	231,25		
Bioetanol												484,69	231,25			230,81	55,06		
Bioetanol (Maíz)	2014											230,81	55,06						
Bioetanol (Maíz)	2023			230,81	55,06														
Bioetanol	2025							461,61	165,18										
Bioetanol	2027																		230,81
Bioetanol	2030									230,81	55,06								
Bioetanol (Maíz)		230,81	55,06			230,81	55,06							230,81	55,06				

Tabla IV-5: Inversiones de Turbinas Hidrocínicas.

Disponibilidad de Petróleo		100% - 95% - 90% - 85%						80%					
		100%		95%		90% - 85% - 80%		100%		95%		90% - 85%	
Disponibilidad de Gas		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Hidrocínetica	2013						18,14						
Hidrocínetica	2014			18,14	1,44						18,14	1,44	
Hidrocínetica	2015	18,14	1,44							18,14	1,44		

Para los parques eólicos tenemos que observar la Tabla IV-6 y la Tabla IV-7, para esta tecnología en particular el análisis se hace bastante más complejo que en las anteriores, pero en parte es que la dificultad de tener rangos algo amplios de capacidades de instalación, el modelo opta por instalar capacidades de los dos primeros niveles, pero se ha podido constatar que en algunos casos de poder instalar parques eólicos más chicos lo haría en ciertos momentos, lo que es cierto es que la variaciones en estas instalaciones afectan de manera mínima en la función objetivo, o mejor dicho el modelo es capaz de disminuir el impacto de estas variaciones manejando los flujos de las fuentes energéticas, recordemos que todas las fuentes tienen costos diferentes, y la disponibilidad de una capacidad instalada no implica su empleo total. Con esta libertad el modelo decide la mejor forma de administrar los recursos a lo largo del horizonte de estudio.

Tabla IV-6: Inversiones en parques Eólicos.

Disponibilidad de Petróleo		100%								95%			
		100%		95%		90%		85% - 80%		100% - 95% - 90% - 85%		80%	
Disponibilidad de Gas		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Eólico	2020			1112,05	124,38	1853,41	248,76	1112,05	124,38	1112,05	124,38	1112,05	124,38
Eólico	2021	1112,05	124,38										
Eólico	2023			1112,05	124,38			1112,05	124,38	1112,05	124,38	1853,41	248,76
Eólico	2026			1112,05	124,38			1112,05	124,38	1112,05	124,38		

Tabla IV-7: Inversiones en parques Eólicos (cont.).

Disponibilidad de Petróleo		90%						85%				80%			
		100%		95% - 90% - 85% - 80%		100%		95% - 90% - 85% - 80%		100%		95% - 90% - 85% - 80%			
Disponibilidad de Gas		MUSS	TOE	MUSS	TOE	MUSS	TOE	MUSS	TOE	MUSS	TOE	MUSS	TOE		
Eólico	2020			1112,05	124,38			1112,05	124,38			1112,05	124,38		
Eólico	2021	2335,3	522,4			1112,05	124,38			1112,05	124,38				
Eólico	2023			1112,05	124,38			1112,05	124,38			1112,05	124,38		
Eólico	2026			1112,05	124,38			1112,05	124,38			1112,05	124,38		

IV.2. Escenario 2

Para este escenario se tomó en cuenta la poca influencia de la disponibilidad del petróleo ante una abundancia de gas natural, por lo que un incremento en esta fuente no arrojará nueva información si se ve limitada la cantidad de gas natural disponible, por lo que se optó por suponer el peor caso factible para el petróleo y ver cómo evolucionan las instalaciones ante una reposición de las reservas de gas natural. La reposición se produce con un nuevo agregado de las reservas al año 2020, la cantidad adicional disponible es equivalente al 50% de las reservas iniciales, por lo que cuando se indica que se dispone del 100% el modelo puede emplear el 150% de las reservas iniciales solo que el 50% adicional ingresara al año 2020, pero al final del horizonte no deberá conservar nada, por otra parte si se dispone del 50% el modelo tendrá que conservar la cantidad equivalente a la que le ingresa al año 2020 por lo que puede emplear en su totalidad las reservas iniciales a lo largo del horizonte de estudio. Lo real es que se balancee la cantidad consumida y la reposición de las reservas y que año a año estas se mantengan estables, en estos ejemplos estamos presentando situaciones extremas, pero también como se puede ver de la Figura I-17 las reservas de gas natural se encuentran en continua disminución, pero gracias a la reposición la caída no es tan abrupta como podría ser.

Este escenario se planteó en una base de posibilidad de un ingreso importante de nuevas reservas, que se espera que suceda en los próximos años con la explotación y declaración de las reservas Shell, si bien ya se inició la explotación los organismos nacionales aun no publican la información de las nuevas reservas, o quizás se los denomine como un nuevo recurso y sus reservas sean publicadas de forma independiente a los recursos fósiles convencionales. De todas formas el empleo de los recursos resulta ser el mismo, si bien la procedencia influiría en el costo de producción no influye en las instalaciones utilizadas para su distribución y su empleo.

En la Tabla IV-8 se presentan las funciones objetivos de los casos que componen este Escenario, la disponibilidad que se manipula es la del gas natural, situando en el peor caso factible a la del petróleo (80%) con una adición equivalente a un 50% de las

reservas iniciales al año 2020. Se puede apreciar una disminución de la función objetivo en función de la disminución de la disponibilidad.

Tabla IV-8: Funciones Objetivos, escenario 2

Disponibilidad de Gas Natural	100%	66937,09
	93%	66488,94
	87%	65994,65
	80%	65440,45
	73%	64822,53
	67%	64106,24

A continuación se presentaran las evoluciones de las matrices energéticas para cada caso, de manera general se puede apreciar como ante la disminución de la disponibilidad de gas natural se anticipa e incrementa el empleo de la energía eólica.

Para la Figura IV-10 se emplea la energía solar, y como se concluyó del escenario 1, al disponer de GNC no emplea bioetanol y en este caso no parece emplear de manera significativa biodiesel, la matriz energética se inclina principalmente al consumo de gas natural, dando lugar solo en los últimos periodos a la energía eólica.

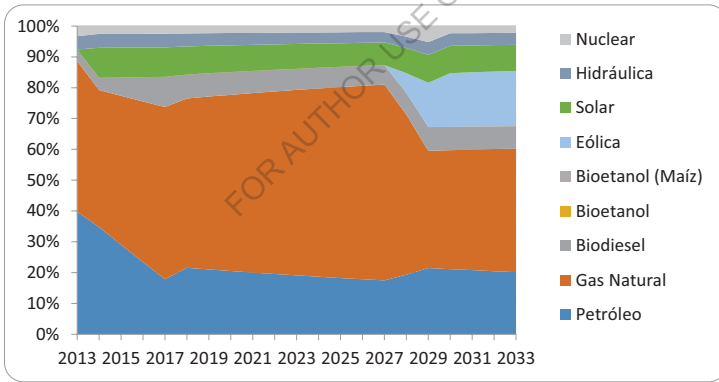


Figura IV-10: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 100% GN).

La Figura IV-11 muestra las relaciones de consumo de los recursos para el caso de dispone de 93% de las reservas para emplear en el horizonte de estudio, se puede que el empleo de la energía nuclear solo se incrementa para dar lugar al inicio a el empleo de la energía eólica, emplea en su totalidad la energía solar que es sustituido directo del gas natural en el consumo residencial.

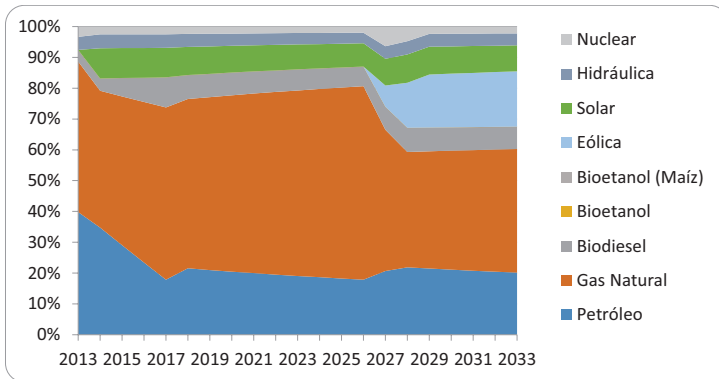


Figura IV-11: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 93% GN).

La Figura IV-12 continua con la tendencia ya marcada por las anteriores se emplea la energía nuclear solo en una transición a la eólica, en los otros momentos se realiza un empleo mínimo, la energía solar es ampliamente usada, el gas natural es empleado en todos en los mercados.

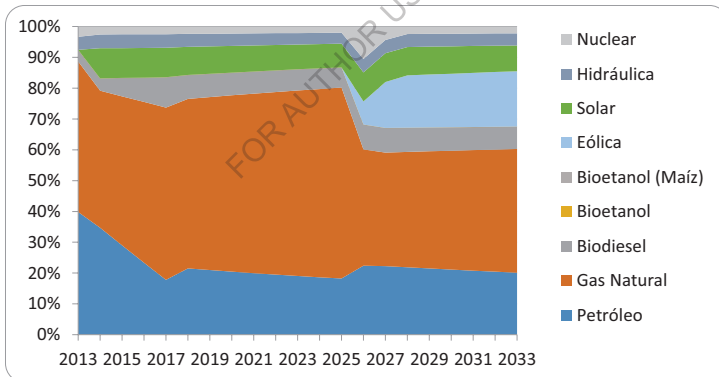


Figura IV-12: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 87% GN).

La Figura IV-13 presenta la evolución de la matriz para el caso de que se disponga del 80% de gas, ante la disminución de cantidad disponible de gas natural el modelo decide adelantar la instalación de los parques eólicos, este adelanto disminuye el empleo en gas y de la energía nuclear, como era de esperar se emplea la energía solar

de manera abundante y el consumo de petróleo no se ve afectado por los cambios, tal como se esperaba.

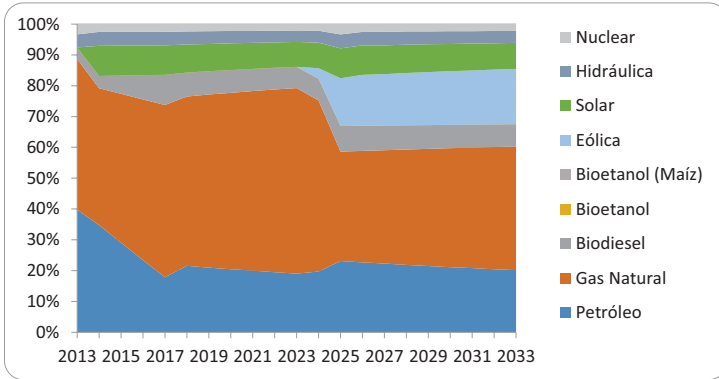


Figura IV-13: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 80% GN).

Continuando con los casos en la Figura IV-14 se presenta la evolución de la matriz energética para cuando se dispone de un 73% de gas natural, continua con la misma tendencia, se adelanta la instalación de los parques eólicos, se emplea en su totalidad la capacidad de la energía solar.

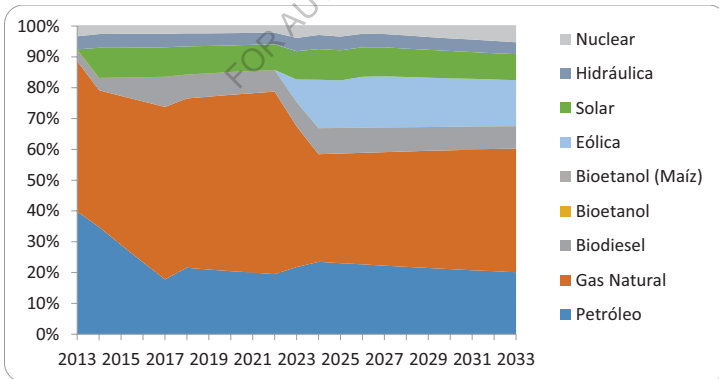


Figura IV-14: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 73% GN).

Para finalizar con los casos de este escenario se tiene en la Figura IV-15 cómo evoluciona la matriz para cuando se dispone de 67% de las reservas de gas natural, en

este punto se puede ver que la tendencia deja de cumplirse, ante esta combinación de recursos el modelo decide no realizar tantas instalaciones de parques eólicos, pero si emplear de forma más abundante la energía nuclear. Se emplea en su totalidad la capacidad de la energía solar, con lo que se puede concluir o enunciar con toda seguridad, que ante los costos empleados resulta muy beneficioso el empleo de la energía solar, y es una buena fuente de energía, aunque en el modelo solo se esté empleando con colectores solares como sustituto del gas natural.

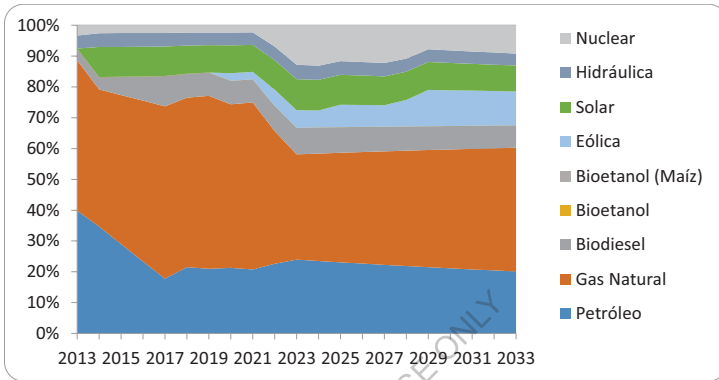


Figura IV-15: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 67% GN).

En la Tabla IV-9 se listan las inversiones que se realizan de forma indistinta de todos los casos de este escenario, invierte en instalaciones de fuel oil, biodiesel y emplea el máximo de los colectores solares.

Tabla IV-9: Inversiones Base en todas las combinaciones de disponibilidades para el escenario 2.

		2013		2014		2015	
		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Fuel Oil	Eléctrico	59,44	97,64				
BioDiesel	Transporte	144,34	135,94	144,34	135,94	144,34	135,94
Solar	Residencial	414,13	695,55				

Para iniciar la presentación de las inversiones realizadas para cada fuente en particular iniciaremos explicando por qué no se realizan nuevas inversiones en gas natural que es la fuente empleada por excelencia en este escenario. En primer lugar es real que para realizar una explotación de un nuevo pozo se debe realizar una nueva inversión, pero en este modelo esa parte no se encuentra considerada, otra parte es que el modelo solo está empleando toda la capacidad instalada, muchas de las instalaciones

termogeneradoras tiene la capacidad de poder emplear tanto fuel oíl como gas natural, una característica no incluida en el modelo, la razón principal es que en la realidad nadie quiere emplear el fuel oíl, por ser un combustible más caro y más sucio en su quema. Por lo que la capacidad instalada de la mayoría de las termogeneradoras está incluida de forma que solo emplean gas natural. Las instalaciones de energía eólica se realizan no para disminuir el consumo de gas natural, sino para satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica, una conclusión importante. El modelo aun con exceso de gas natural, decide emplear la energía eólica antes de instalar nuevas termogeneradoras.

En la Tabla IV-10 se presenta las instalaciones de las turbinas hidrocinéticas, a medida que disminuye la cantidad disponible de gas natural se produce un adelantamiento de la instalación.

Tabla IV-10: Inversiones de Turbinas Hidrocinéticas.

		100%		93%		87%		80%		73%		67%	
		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Hidrocinética	2017											18,14	1,44
Hidrocinética	2021									18,14	1,44		
Hidrocinética	2022							18,14	1,44				
Hidrocinética	2024					18,14	1,44						
Hidrocinética	2025			18,14	1,44								
Hidrocinética	2026	18,14	1,44										

En la Tabla IV-11 se presentan las instalaciones de los parques eólicos, se puede ver como el modelo decide ir adelante un bloque básico de instalaciones pero las que completan las instalaciones finales depende fundamentalmente del caso que se esté tratando.

Tabla IV-11: Inversiones en parques Eólicos.

		100%		93%		87%		80%		73%		67%	
		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Eólico	2014											2335,3	522,4
Eólico	2015											2335,3	522,4
Eólico	2018									2335,3	522,4		
Eólico	2019							2335,3	522,4	2335,3	522,4		
Eólico	2020							2335,3	522,4			1112,05	124,38
Eólico	2021					2335,3	522,4	1112,05	124,38	1112,05	124,38		
Eólico	2022			2335,3	522,4	2335,3	522,4						
Eólico	2023	2335,3	522,4	2335,3	522,4	2224,1	373,14	1112,05	124,38			1112,05	124,38
Eólico	2024	2335,3	522,4	2224,1	373,14							1853,41	248,76
Eólico	2025	2224,1	373,14										
Eólico	2026							1112,05	124,38				

IV.3. Escenario 3

En el escenario 3 se presenta el mismo caso anterior con el sutil cambio de un incremento en los costos de operación que tienen que ver con el empleo del gas. Se fuerza un incremento del 400% en los costos. Se realiza la reposición de las reservas, se varía la disponibilidad del gas natural y se asume la peor disponibilidad factible para el petróleo.

La Tabla IV-12 presenta la función objetivo alcanzada para cada caso analizado en este escenario, se puede ver que los resultados son menores que los obtenidos para el escenario anterior y que también disminuye en función de la disminución de la disponibilidad.

Tabla IV-12: Funciones objetivos, escenario 3.

Disponibilidad de Gas Natural	100%	64814,72
	93%	64366,6
	87%	63872,34
	80%	63318,16
	73%	62700,28
	67%	62013,3

En la Figura IV-16 se presenta la relación de los consumos de las diferentes fuentes a lo largo del horizonte de estudio, se dispone de una gran cantidad de gas natural pero el costo es mucho más importante que el escenario anterior, pero el empleo de los recursos es idéntico que el del caso correspondiente (Figura IV-10).

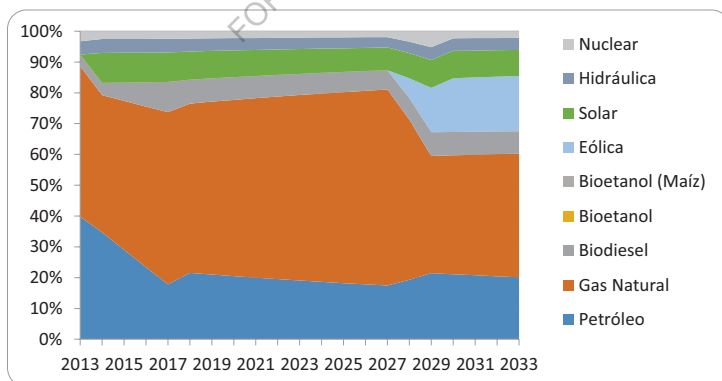


Figura IV-16: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 100% GN).

Para el caso de cuando se dispone de 93% de las reservas con reposición en las reservas de gas natural y con un incremento de los costos operativos del gas natural se presentan las relaciones porcentuales de empleo de los recursos en la Figura IV-17, resulta idéntica a la relación Figura IV-11.

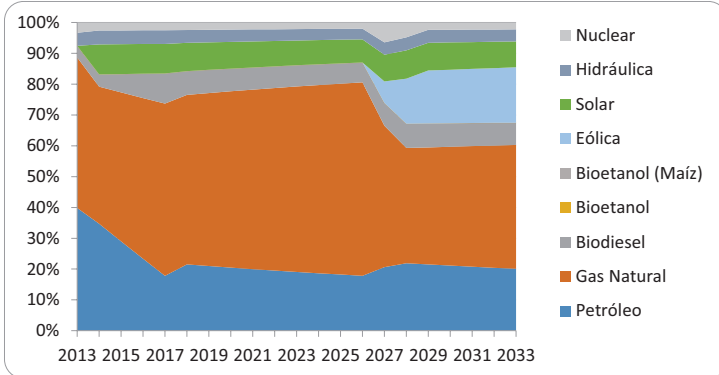


Figura IV-17: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 93% GN).

Para los casos de disponer de 87%, 80%, y 73% de las reservas de gas natural también se repiten los empleos del escenario anterior, se presentan en la Figura IV-18, Figura IV-19, Figura IV-20 respectivamente. Estos resultados no resultan muy evidentes a esta altura.

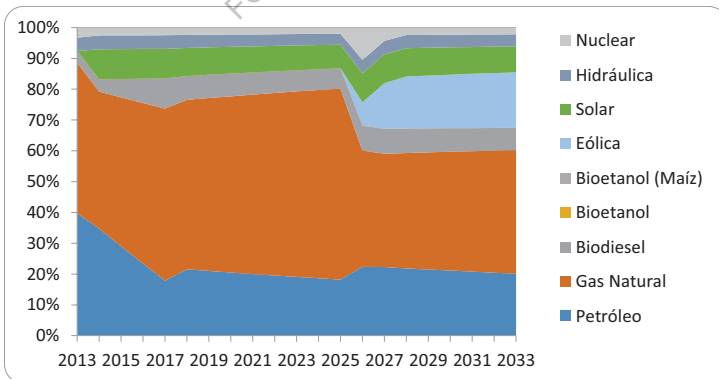


Figura IV-18: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 87% GN).

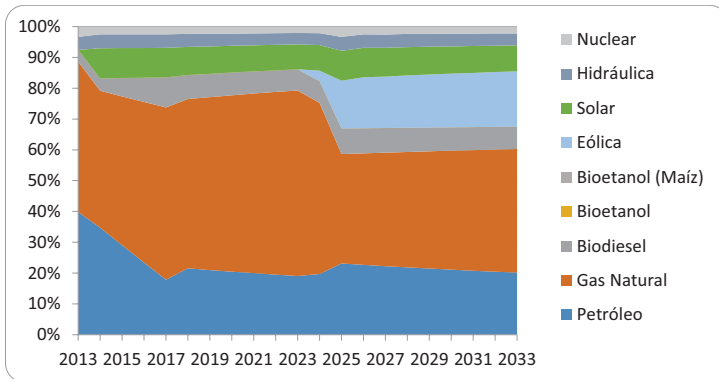


Figura IV-19: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 80% GN).

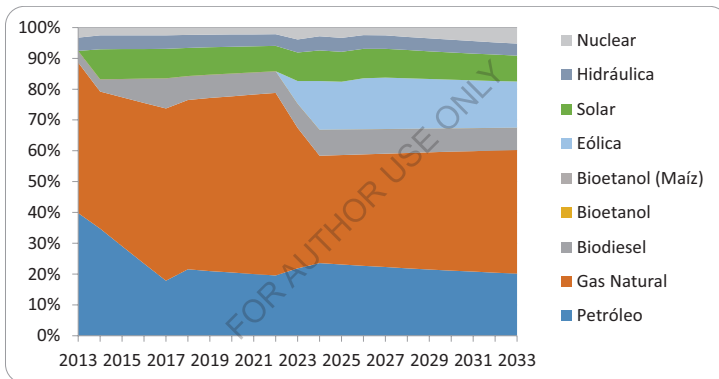


Figura IV-20: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 73% GN).

Al observar la Figura IV-21 vemos una clara diferencia en el empleo de la energía eólica, que se reflejara en un cambio en cuanto las inversiones para este caso. Al disponer de solo el 67% de las reservas de gas natural, contar con un incremento significativo en los costos de gas natural el modelo decide incrementar las inversiones en energía eólica y dar un empleo más significativo para el mismo caso del escenario anterior (Figura IV-15).

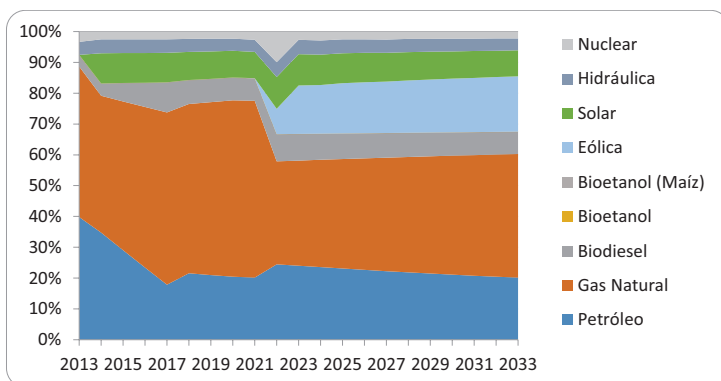


Figura IV-21: Evolución de la matriz energética argentina (80% P - 67% GN).

En la Tabla IV-13 se presenta las inversiones realizadas en este escenario sin importar la disponibilidad de gas natural. Las inversiones realizadas son idénticas al escenario 2. Se esperaba que surgiera una mayor diversificación, pero es claro que el gas natural como fuente de energía es un recurso muy ventajoso desde el punto de vista económico.

Tabla IV-13: Inversiones Base en todas las combinaciones de disponibilidades para el escenario 2.

		2013		2014		2015	
		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Fuel Oil	Eléctrico	59,44	97,64				
BioDiesel	Transporte	144,34	135,94	144,34	135,94	144,34	135,94
Solar	Residencial	414,13	695,55				

Las inversiones en turbinas hidrocinéticas se presenta en la Tabla IV-14, se ve que el comportamiento de las inversiones es muy similar al escenario anterior a excepción de que para el caso de disponer del 67% de las reservas de gas natural en el escenario 2 la inversión se realiza dos años antes respecto a este escenario. Esto es consecuente con el empleo de los recursos que se refleja en las evoluciones de la matriz energética.

Tabla IV-14: Inversiones de Turbinas Hidrocinéticas.

		100%		93%		87%		80%		73%		67%	
		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Hidrocinética	2019											18,14	1,44
Hidrocinética	2021									18,14	1,44		
Hidrocinética	2022							18,14	1,44				
Hidrocinética	2024					18,14	1,44						
Hidrocinética	2025			18,14	1,44								
Hidrocinética	2026	18,14	1,44										

En la Tabla IV-15 se muestran las instalaciones de los parques eólicos, con respecto al escenario anterior (Tabla IV-11) solo se observan modificaciones en el caso del 67%, aunque la mayor diferencia se produce en el empleo de las capacidades instaladas.

Tabla IV-15: Inversiones en parques Eólicos.

		100%		93%		87%		80%		73%		67%	
		MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE	MUS\$	TOE
Eólica	2017											2335,3	522,4
Eólica	2018									2335,3	522,4	2335,3	522,4
Eólica	2019							2335,3	522,4	2335,3	522,4		
Eólica	2020							2335,3	522,4			1112,05	124,38
Eólica	2021					2335,3	522,4	1112,05	124,38	1112,05	124,38		
Eólica	2022			2335,3	522,4	2335,3	522,4						
Eólica	2023	2335,3	522,4	2335,3	522,4	2224,1	373,14	1112,05	124,38			1112,05	124,38
Eólica	2024	2335,3	522,4	2224,1	373,14								
Eólica	2025	2224,1	373,14										
Eólica	2026							1112,05	124,38			1112,05	124,38

IV.4. Conclusiones

La función objetivo busca la maximización del valor presente neto (VAN) en un horizonte de 20 años (2013-2033). Por medio de este indicador en el modelo se consideran los ingresos, costos de operación, costos de puesta en marcha, y los costes de amortización de las nuevas instalaciones, se considera la temporalidad de las decisiones y se da un peso al momento de las decisiones por medio de la tasa de actualización.

Este modelo permite la integración de las diversas fuentes de energía, es posible incluir tecnologías que por el momento no se han considerado, y “facilita y provee información sobre la administración de los recursos y el planeamiento de las inversiones en el sector energético”. Se incluyen las energías renovables que se cree que tienen ventajas en la Argentina: los aerogeneradores eólicos, biodiesel de soja,

bioetanol a partir de caña de azúcar, las turbinas hidrocínética y la energía solar para la calefacción residencial y comercial.

Varios ejemplos se resolvieron con el fin de exhibir las capacidades del modelo. Los escenarios plantean diferentes situaciones para analizar las respuestas del modelo. Las soluciones mostraron cómo los diferentes elementos interactúan para lograr un funcionamiento eficiente del sistema energético global. Precisamente, el análisis simultáneo de todos los elementos involucrados es la gran ventaja de la programación matemática para este contexto.

El modelo permite el análisis y la evaluación de diferentes escenarios que ayudan a la toma de decisiones sobre las alternativas energéticas económicas para invertir con el fin de satisfacer las demandas actuales y futuras. Es cierto que el modelo se convierte en un juego de costos, en donde siempre se optara por la combinación que produzca un mayor beneficio. Por tanto la diversificación propuesta por el modelo es principalmente derivado de la búsqueda de un mayor beneficio, es claro que al ir restringiendo la disponibilidad de los recursos no renovables el modelo se ve forzado a incrementar las instalaciones en energía alternativas. Es evidente que la cantidad óptima de petróleo requerida para la demanda argentina, prevista en los próximos 20 años, se encuentra muy próxima a un 85% de las reservas actualmente reportadas, mientras que para el gas es un valor superior al disponible, y lo que convertiría a la matriz energética argentina en una muy dependiente del gas natural, con las obvias consecuencias medio ambientales. Es claro que hace falta redireccionar el objetivo de la función objetivo e incluir de alguna forma el impacto ambiental, y es indispensable pensar en una diversificación en pos de velar por la sustentabilidad de la actividad humana.

Para el escenario 1, donde se va limitando la disponibilidad actualmente reportada se puede comprender que el modelo actualmente realiza instalaciones en pos de satisfacer la demanda, para el caso de los escenarios 2 y 3 se puede confirmar lo previamente enunciado y se puede concluir que los incrementos en los costos del gas no afectan significativamente la solución, y que aun con un incremento de un 400% de los costos solo se produce una disminución del 3% en la función objetivo. Las inversiones realizadas no varían significativamente, solo en el caso sensible de cuando se aproxima los casos del escenario 1.

Aunque el modelo se ha planteado para el caso argentino, la metodología se puede extender fácilmente a considerar otros casos y escenarios. En efecto, una gran ventaja de la formulación propuesta es su aplicación a diferentes contextos teniendo en cuenta la representación simultánea de los diferentes aspectos. Además puede

considerar un gran número de factores, siempre y cuando se emplee alguna métrica o método para expresar estos factores de forma económica e incluir estas métricas no implicaría ningún problema adicional.

FOR AUTHOR USE ONLY

Bibliografía

- [1] World Energy Council, «WEC: 1995 survey of energy resources», <http://www.worldenergy.org/publications/>, 1995.
- [2] «Statistical Review of World Energy | Energy economics | Home», *BP global*. [En línea]. Disponible en: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. [Accedido: 14-ene-2020].
- [3] Alexis Caporal, «Libro - El Futuro De La Energía», *Instituto Baikal*. [En línea]. Disponible en: <http://institutobaikal.com/libros/el-futuro-de-la-energia/>. [Accedido: 18-jul-2014].
- [4] «Energy economics | About BP | BP Global». [En línea]. Disponible en: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics.html>. [Accedido: 05-ago-2014].
- [5] S. of P. Engineers, «Petroleum Resources Management System», *Petroleum Reserves & Resources Definitions*. [En línea]. Disponible en: http://www.spe.org/industry/docs/Petroleum_Resources_Management_System_2007.pdf.
- [6] T. Priest, «Hubbert's Peak: The Great Debate over the End of Oil», *Historical Studies in the Natural Sciences*, n.º 1, p. 37, 2014.
- [7] A. Verbruggen y M. Al Marchohi, «Views on peak oil and its relation to climate change policy», *Energy Policy*, vol. 38, n.º 10, pp. 5572-5581, oct. 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.05.002.
- [8] World Energy Council, «WEC: 2013 survey of energy resources», <http://www.worldenergy.org/publications/>, 2013.
- [9] «Hastings Hydrokinetic Project - Hydro Green Energy». [En línea]. Disponible en: <http://hgenergy.com/index.php/projects/hastings-project/>. [Accedido: 05-ago-2014].
- [10] The International Energy Agency, «Energy sustainability and tracking clean energy - IEA, Energy sustainability and tracking clean energy - IEA». [En línea]. Disponible en: <http://www.iea.org/etp/tracking/>. [Accedido: 21-jul-2014].
- [11] D. Chen, M. C. Facchin, D. Frame, N. Mahowald, y J.-G. Winther, «Climate Change 2013: The Physical Science Basis».
- [12] R. Wüstenhagen y E. Menichetti, «Strategic choices for renewable energy investment: Conceptual framework and opportunities for further research», *Energy Policy*, vol. 40, pp. 1-10, ene. 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2011.06.050.
- [13] Secretaría de Energía, «Balances Energéticos». [En línea]. Disponible en: <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>. [Accedido: 05-ago-2014].
- [14] «IV Seminario Estrategico 2008 | Society of Petroleum Engineers». [En línea]. Disponible en: <http://www.spe.org.ar/eventos/seminarios/iv-seminario-estrategico-2008/>. [Accedido: 05-ago-2014].
- [15] INTI, «INTI». [En línea]. Disponible en: <http://www.inti.gob.ar/e-renova/erSO/er25.php>. [Accedido: 05-ago-2014].
- [16] «ENARSA Energía - Energía Solar». [En línea]. Disponible en: <http://www.enarsa.com.ar/index.php/es/energiasrenovables/387-energia-solar>. [Accedido: 05-ago-2014].
- [17] J. I. Andreotti, «Consultor de Telecomunicaciones y Electricidad (CTE): PARQUE EÓLICO ARAUCO-S.A.P.E.M. - LA RIOJA, ARGENTINA», *Consultor de Telecomunicaciones y Electricidad (CTE)*, 17-sep-2012. [En línea]. Disponible en: <http://ingenieroandreatti.blogspot.com.ar/2012/09/parque-eolico-arauco-sapem-la-rioja.html>. [Accedido: 25-abr-2014].
- [18] G. Krajačić, N. Duić, Z. Zmijarević, B. V. Mathiesen, A. A. Vučinić, y M. da Graça Carvalho, «Planning for a 100% independent energy system based on smart energy storage for integration of renewables and CO2 emissions reduction», *Appl. Therm. Eng.*, vol. 31, n.º 13, pp. 2073-2083, sep. 2011, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.03.014.

- [19] L. Baringo y A. J. Conejo, «Risk-Constrained Multi-Stage Wind Power Investment», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, n.º 1, pp. 401-411, ene. 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2205411.
- [20] S. J. Kazempour, A. J. Conejo, y C. Ruiz, «Strategic Generation Investment Using a Complementarity Approach», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, n.º 2, pp. 940-948, 05/01/2011 2011, doi: 10.1109/TPWRS.2010.2069573.
- [21] A. Pina, C. A. Silva, y P. Ferrão, «High-resolution modeling framework for planning electricity systems with high penetration of renewables», *Appl. Energy*, vol. 112, pp. 215-223, dic. 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.05.074.
- [22] Md. A. H. Mondal, S. Kennedy, y T. Mezher, «Long-term optimization of United Arab Emirates energy future: Policy implications», *Appl. Energy*, vol. 114, pp. 466-474, feb. 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.10.013.
- [23] D. Connolly, H. Lund, B. V. Mathiesen, y M. Leahy, «The first step towards a 100% renewable energy-system for Ireland», *Appl. Energy*, vol. 88, pp. 502-507, doi: 10.1016/j.apenergy.2010.03.006.
- [24] B. Čosić, G. Krajačić, y N. Duić, «A 100% renewable energy system in the year 2050: The case of Macedonia», *Energy*, vol. 48, n.º 1, pp. 80-87, dic. 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.06.078.
- [25] H. Lund y B. V. Mathiesen, «Energy system analysis of 100% renewable energy systems—The case of Denmark in years 2030 and 2050», *Energy*, vol. 34, n.º 5, pp. 524-531, may 2009, doi: 10.1016/j.energy.2008.04.003.
- [26] I. G. Mason, S. C. Page, y A. G. Williamson, «A 100% renewable electricity generation system for New Zealand utilising hydro, wind, geothermal and biomass resources», *Energy Policy*, vol. 38, n.º 8, pp. 3973-3984, ago. 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.03.022.
- [27] P. Alberg Østergaard, B. V. Mathiesen, B. Möller, y H. Lund, «A renewable energy scenario for Aalborg Municipality based on low-temperature geothermal heat, wind power and biomass», *Energy*, vol. 35, n.º 12, pp. 4892-4901, dic. 2010, doi: 10.1016/j.energy.2010.08.041.
- [28] R. H. Ballou, *Logística: administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación, 2004.
- [29] «Argentinarenovables.org». [En línea]. Disponible en: <http://www.argentinarenovables.org/mapas.php>. [Accedido: 05-ago-2011].
- [30] «INVAP - Turbina hidrocínética». [En línea]. Disponible en: <http://www.invap.com.ar/area-industrial/proyectos/turbina-hidrocinetica.html>. [Accedido: 17-sep-2014].
- [31] Teresa Pandolfo, «Proponen generar electricidad con turbinas hidrocínéticas», *El Litoral*. [En línea]. Disponible en: <http://www.ellitoral.com/index.php/diarios/2010/10/03/politica/POLI-02.html>. [Accedido: 17-sep-2014].
- [32] INTA, «INTA». [En línea]. Disponible en: <http://inta.gov.ar>. [Accedido: 17-jul-2014].
- [33] MAIZAR, «M A I Z A R». [En línea]. Disponible en: <http://www.maizar.org.ar/etanol.php>. [Accedido: 21-ago-2014].
- [34] «CAMARA ARGENTINA DE BIOCOMBUSTIBLES». [En línea]. Disponible en: <http://www.carbio.com.ar/es/?con=biblioteca>. [Accedido: 05-ago-2014].
- [35] J. A. Hilbert, R. SBARRA, y M. LÓPEZ AMORÓS, «Producción de biodiesel a partir de aceite de soja. Contexto y evolución reciente». [En línea]. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/produccion-de-biodiesel-a-partir-de-aceite-de-soja.-contexto-y-evolucion-reciente-1>. [Accedido: 17-sep-2014].
- [36] «CNEA». [En línea]. Disponible en: <http://www2.cnea.gov.ar/proyectos/carem/index.php>. [Accedido: 17-sep-2014].
- [37] «Estadísticas - IAPG - Instituto Argentino del Petróleo y del Gas». [En línea]. Disponible en: http://www.iapg.org.ar/web_iapg/sectores/estadisticas/productos/listados/listado_todos_los_productos.htm. [Accedido: 17-sep-2014].
- [38] T. de la I.-S. de Energía, «Secretaría de Energía - República Argentina». [En línea]. Disponible en: <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3300>. [Accedido: 26-ago-2014].

- [39] «INDEC:INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA». [En línea]. Disponible en: <http://www.indec.mecon.ar/>. [Accedido: 05-ago-2014].
- [40] Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina, «Publicaciones MEMNet», *Publicaciones MEMNet*. [En línea]. Disponible en: [http://memnet2.cammasa.com/infopub.nsf/navegadores/\\$first?open](http://memnet2.cammasa.com/infopub.nsf/navegadores/$first?open).
- [41] A. Vecchietti, S. Lee, y I. E. Grossmann, «Modeling of discrete/continuous optimization problems: characterization and formulation of disjunctions and their relaxations», *Comput. Chem. Eng.*, vol. 27, n.º 3, pp. 433-448, mar. 2003, doi: 10.1016/S0098-1354(02)00220-X.
- [42] A. Vecchietti y I. E. Grossmann, «Modeling issues and implementation of language for disjunctive programming», *Comput. Chem. Eng.*, vol. 24, n.º 9-10, pp. 2143-2155, oct. 2000, doi: 10.1016/S0098-1354(00)00582-2.
- [43] J. M. Montagna y A. R. Vecchietti, «Retrofit of multiproduct batch plants through generalized disjunctive programming», *Math. Comput. Model.*, vol. 38, n.º 5-6, pp. 465-479, sep. 2003, doi: 10.1016/S0895-7177(03)90019-7.
- [44] J. M. Montagna, O. A. Iribarren, y A. R. Vecchietti, «Synthesis of Biotechnological Processes Using Generalized Disjunctive Programming», *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 43, n.º 15, pp. 4220-4232, jul. 2004, doi: 10.1021/ie0499005.
- [45] J. P. Ruiz, J.-H. Jagla, I. E. Grossmann, A. Meeraus, y A. Vecchietti, «Generalized Disjunctive Programming: Solution Strategies», *Algebr. Model. Syst.*, p. 57, ene. 2012.
- [46] IAPG, «: Instituto Argentino del Petróleo y del Gas :»: [En línea]. Disponible en: <http://www.iapg.org.ar/sectores/estadisticas/productos/listados/Suplemento.htm>. [Accedido: 05-ago-2014].
- [47] E. M. G. Romero y V. R. Hernández, *Energía Nuclear*. Editorial CSIC - CSIC Press, 2010.
- [48] E. Balas, «Disjunctive Programming and a Hierarchy of Relaxations for Discrete Optimization Problems», 1983.
- [49] R. Castiñeira, «Presente y Futuro del Gas en la Argentina», Econométrica S.A. Economic research and forecasts, Febrero 2012.
- [50] Tecnología de la Información-Secretaría de Energía, «Secretaría de Energía - República Argentina». [En línea]. Disponible en: <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=1582>. [Accedido: 05-ago-2014].

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**More
Books!**



yes
I want morebooks!

Buy your books fast and straightforward online - at one of world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.morebooks.shop

¡Compre sus libros rápido y directo en internet, en una de las librerías en línea con mayor crecimiento en el mundo! Producción que protege el medio ambiente a través de las tecnologías de impresión bajo demanda.

Compre sus libros online en
www.morebooks.shop

KS OmniScriptum Publishing
Brivibas gatve 197
LV-1039 Riga, Latvia
Telefax: +371 686 20455

info@omniscryptum.com
www.omniscryptum.com

OMNIScriptum



FOR AUTHOR USE ONLY