

Escenarios de ahorro de recursos energéticos en Venezuela empleando gas y energías renovables

López González, Alejandro

Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, DGFSE

Maracaibo, Venezuela
aelopez@mppee.gob.ve
aleslogo@gmail.com

Resumen- *Se busca evidenciar que el uso racional y eficiente de las fuentes primarias de energía ha de basarse, en Venezuela, en criterios medioambientales, técnicos y económicos y que el uso intensivo de combustible diesel representa una inobservancia de los principios bajo los cuales debe regirse el sistema eléctrico nacional, de acuerdo a la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico. Así mismo, se muestran escenarios de ahorro a través del reemplazo de diesel por gas en el occidente del país y la inclusión de sistemas con energías renovables como formas de autogeneración, con grandes beneficios económicos y medioambientales para el país.*

Palabras Claves: *Autogeneración, Energías renovables, Diesel, Emisiones, Gas.*

I. INTRODUCCIÓN

La combustión estacionaria, principalmente en grandes centrales termoeléctricas, grupos electrógenos, unidades de autogeneración diesel y refinerías, representa un 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector energético, a nivel mundial [1]. El 11 de diciembre de 1997 fue firmado el protocolo de Kyoto, en el que los países industrializados se comprometen a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero, en al menos un 5 % entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990 [2]. Venezuela no está obligada al cumplimiento de ninguna restricción, sin embargo, la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico establece como principios rectores para todas sus actividades: la sustentabilidad ambiental, el uso racional y eficiente de los recursos y la diversificación en el uso de fuentes primarias de energía [3]. En el contexto legal nacional, para la operadora y prestadora del servicio eléctrico, Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC), el principio de uso racional y eficiente de los recursos se refiere al aprovechamiento máximo del potencial de cada unidad de energía primaria en el proceso de generación de energía eléctrica [4], es decir, las grandes centrales termoeléctricas, grupos

electrógenos y unidades de autogeneración deben procurar máxima eficiencia y, al mismo tiempo, sustentabilidad ambiental. En este sentido, el uso de combustibles líquidos en lugar de gas en gran parte del parque de generación termoeléctrica del occidente del país, considerando que el país tiene las reservas más grandes de América Latina en gas con 5,6 billones de metros cúbicos [5], podría representar una oportunidad perdida en el cumplimiento de los principios rectores establecidos en el marco legal en beneficio del medio ambiente, teniendo en cuenta que éste combustible emite menos desechos contaminantes a la atmósfera que el diesel [6]. Por otro lado, el uso de combustibles líquidos en unidades turbogas incrementa sus necesidades de mantenimiento [7]. De acuerdo al boletín estadístico anual de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), el consumo de productos destilados y residuales de petróleo se ha venido incrementando de manera sostenida en la país entre 2002 y 2012, siendo más acentuado el incremento desde el año 2008. El consumo de diesel, durante este período, ha aumentado en un 45,5%, mientras que el total de productos destilados y residuales ha crecido un 36% [8]. La generación termoeléctrica, ha sido la principal causa del crecimiento del consumo interno, que en el caso del diesel aumentó su demanda en un 11% entre 2012 y 2013, hasta 240 mil barriles por día a finales de ese año [8].

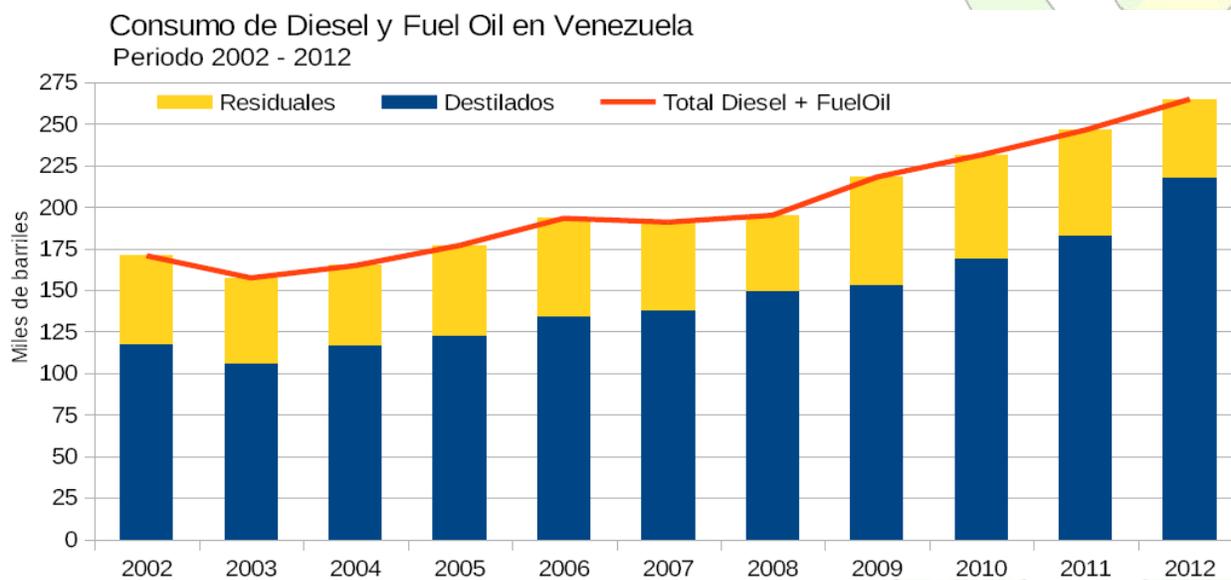


Fig. 1 Consumo venezolano de productos destilados y residuales de petróleo (diesel y fuel-oil)
Fuente: Elaboración propia a partir de OPEC Annual Statistical Bulletin. Viena, Febrero 2014

El incremento en la demanda doméstica de combustibles, ha llevado a Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA) a reducir sus exportaciones a los Estados Unidos de Norteamérica y PETROCARIBE. Las exportaciones a los Estados Unidos se han reducido de un máximo de

alrededor de 350 mil barriles al día, en 2006, hasta menos de 50 mil barriles diarios a principios del 2014 [8]. En el balance financiero del primer semestre de 2013, PDVSA informa que las exportaciones de productos refinados y derivados del petróleo -donde se incluye el diesel y fuel oil- durante el lapso de enero a junio de 2013 bajaron 9% del volumen previo. PDVSA explicó que esta reducción se debió principalmente a un incremento de la demanda local de productos refinados, generada por el alza en los niveles de operación de las plantas termoeléctricas, que se alimentan con combustibles líquidos como el diesel, y en menor medida, con fueloil. En el Plan Nacional de Desarrollo Simón Bolívar 2007-2013 [9] se definió como una necesidad la promoción a la generación termoeléctrica basada en el aprovechamiento del gas y se exhorta a la satisfacción del déficit coyuntural interno de gas en el occidente del país para la generación de energía eléctrica, con el propósito de atender el crecimiento del consumo doméstico. Por otro lado, las resoluciones Nro. 76 y Nro. 77 establecen que todos los usuarios con cargas concentradas mayores a 100 KVA deberán instalar sistemas de autogeneración que funcionarán en horarios establecidos para ello según las horas de mayor demanda eléctrica. En este sentido, los sistemas instalados de autogeneración han sido todos con pequeños grupos electrógenos y motores diesel que accionan generadores eléctricos de pequeña potencia. Estos sistemas tienen una eficiencia menor que la eficiencia global ponderada del parque de generación termoeléctrico nacional y consumen en todos casos combustible diesel, incrementando la demanda del mismo en el mercado interno y acentuado el déficit de este producto para su exportación.

II. EL USO DE DIESEL Y SU IMPACTO EN LA GENERACIÓN DEL ESTADO ZULIA

Venezuela es el quinto país a nivel mundial en energía limpia, alcanzado en 1999 un máximo de generación a partir de hidroelectricidad del 75%. Sin embargo, el incremento en la demanda y nivel de bienestar en la mayor parte de la población han empujado a una mayor difusión de centrales termoeléctricas y uso de combustibles fósiles, básicamente, desde el año 2003. Por las razones antes expuestas, la fracción de generación hidroeléctrica (de cero emisiones de gases de efecto invernadero) ha decaído hasta 63% en 2012 [10].

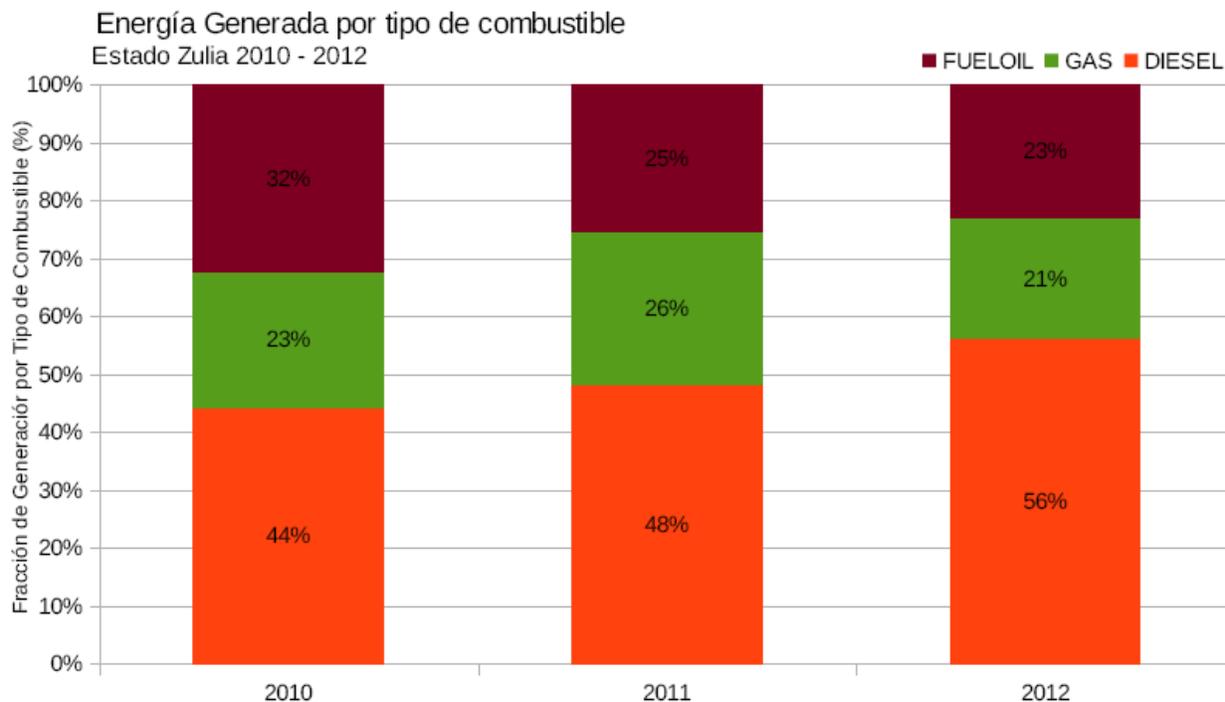


Fig 2 Energía eléctrica generada por tipo de combustible en el Estado Zulia

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CORPOELEC

En el estado Zulia, entre 2010 y 2012, la fracción de energía eléctrica generada a partir de la quema de combustible diesel pasó de un 44% hasta un 56%, mientras que las fracciones de energía generada con gas y fueloil han disminuido, tal y como se muestra en la figura 2. El diesel presenta alrededor de un 40% más de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de energía primaria, lo que implica un aumento en la contaminación ambiental debida al uso de este combustible en lugar de gas natural. La capacidad de generación ha estado compuesta, en las últimas décadas, mayoritariamente por unidades turbogas con capacidad dual (capacidad de generación con gas y diésel), que permiten el reemplazo en un corto plazo al uso de gas, y en menor proporción por unidades turbovapor, básicamente en la planta Ramón Laguna.

II.A. ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ EN EL PARQUE TERMOELÉCTRICO DEL ESTADO ZULIA

Para la estimación de las emisiones de CO₂ de las centrales termoeléctricas del estado Zulia se siguieron las pautas del documento: “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” [11] que se basa en el publicado originalmente en 1995 y reafirmado en 1997 por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), como una metodología para la estimación de las emisiones

antropogénicas de gases de efecto invernadero válida para el cálculo de las metas del protocolo de Kyoto. En las Directrices del IPCC de 2006 [11] se presentan tres niveles para estimar las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles, en esta investigación se utilizó el método de nivel 2, en el cual se estiman las emisiones de la combustión a partir de factores de emisión específicos del estado Zulia, en lugar de los factores por defecto del Nivel 1. Puesto que los factores de emisión específicos del Zulia que pudieron ser estimados, difieren por tecnología de combustión o incluso para cada planta, se han desagregado aún más los datos de la actividad, de modo que los resultados reflejen con mayor precisión el monto real de emisiones. Los factores de emisión de los gases no CO₂ procedentes de la quema de combustible dependen mucho de la tecnología utilizada y se producen en menores cantidades [11]. Por lo tanto, no es útil incluir factores de emisión por defecto para estos gases cuando se tienen características generales del combustible, como es el caso de este trabajo. En primer lugar se definen los factores de emisión de CO₂, para combustión estacionaria, por unidad energética primaria consumida para la generación eléctrica. Los factores de emisión correspondientes a la combustión estacionaria de cada combustible: diesel, fuel-oil y gas, no dependen de la tecnología, ni la eficiencia, sólo de sus características físico-químicas propias. Los valores mostrados en la Tabla 1, son los calculados con base en las estimaciones de la Agencia de Información Energética de los Estados Unidos de Norteamérica en correspondencia con las características propias de los combustibles utilizados en las unidades de generación del estado Zulia, de acuerdo a la información suministrada al Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) por parte de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC). Para calcular los factores de emisión de CO₂ por kilovatio-hora producido en cada unidad de generación (Kg CO₂ / kWh_e) se considera el tipo de combustible, los valores de eficiencia determinados durante las pruebas de capacidad realizadas durante el año 2010 por el Centro Nacional de Despacho (CND), los manuales de los fabricantes y la relación entre consumo de combustible y producción bruta de electricidad en cada unidad entre el año 2010 y 2012. La planta con el más elevado factor de emisión es la Ramón Laguna debido al uso de fueloil, seguida por la Rafael Urdaneta con unidades de baja eficiencia y alto consumo de diesel, en todos los casos. La planta Termozulia I tiene el menor factor de emisión debido a su tecnología de Ciclo Combinado. Las emisiones de gases de efecto invernadero son proporcionales a la generación de electricidad en mayor o menor medida, según el factor de servicio de cada una de

las centrales termoeléctricas y sus respectivos factores de emisión. Por esta razón, la proporción entre generación y emisiones no es constante durante todo el período de estudio, tal y como se puede observar en el figura 3.

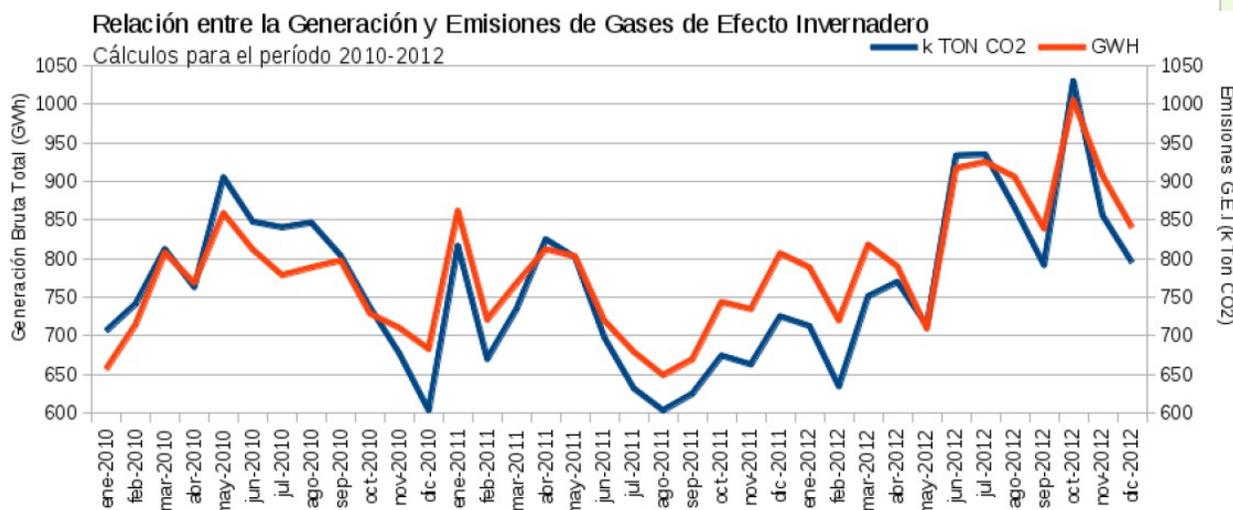


Fig 3 Generación de energía eléctrica y emisiones de GEI en el Estado Zulia

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CORPOELEC

Se puede afirmar que entre 2010 y 2012 la tasa de crecimiento interanual de emisiones ha sido un 6,7% mientras que la generación ha crecido a una tasa interanual del 5,6%, es decir, las emisiones han aumentado más rápidamente que la generación evidenciando un uso de tecnologías y plantas con factores de emisión cada vez más elevados aunque, circunstancialmente, no haya sido siempre así.

II.B. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DEL KWH POR CONCEPTO DE COMBUSTIBLE EN EL ESTADO ZULIA

El aumento en el uso de diesel para la generación de electricidad, mayoritariamente en el occidente del país, ha implicado un incremento en el consumo doméstico de este combustible y una reducción de sus exportaciones a mercados internacionales. Esta situación sumada al aumento del costo del petróleo y los combustibles derivados implica para el país un costo de oportunidad elevado en lo referente a la generación termoeléctrica. En la figura 4 se muestra como se incrementado el costo de producción del KWH en el Estado Zulia debido al aumento en el uso de diesel para generación, reducción de importaciones del mismo e incremento en sus costos de oportunidad en el mercado internacional.

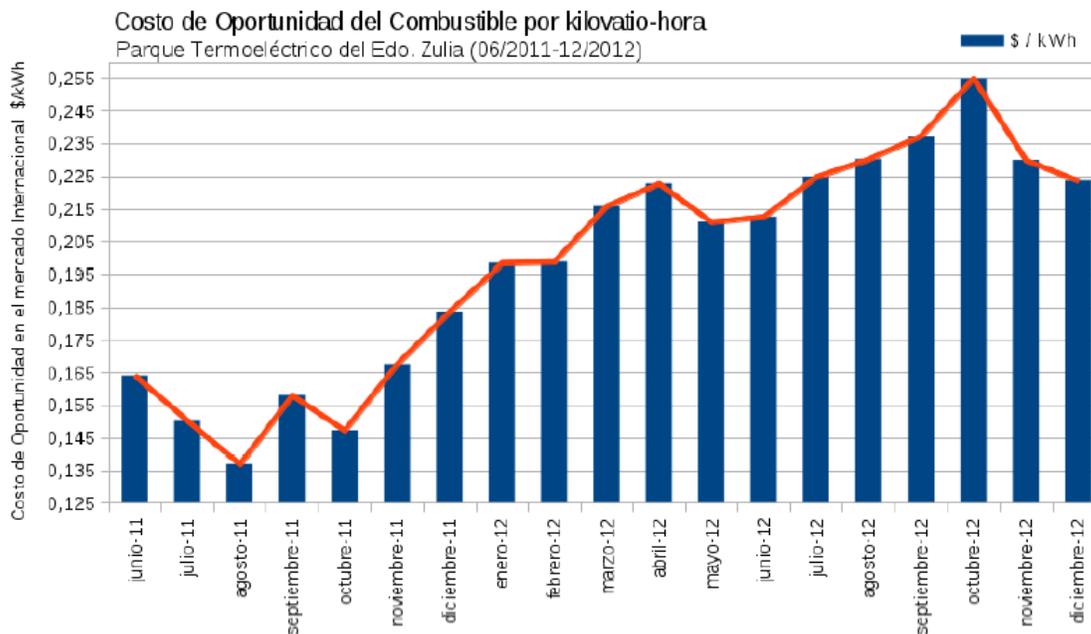


Fig 4 Costo por combustibles del KWH generado en el Estado Zulia
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CORPOELEC

III. EL USO DE DIESEL EN LOS SISTEMAS DE AUTOGENERACIÓN

En cumplimiento a las resoluciones Nro. 76 y Nro. 77 del año 2011, están sujetos al cumplimiento de la misma alrededor de 2300 usuarios con un potencial de autogeneración total nacional de alrededor de 1470 MVA. Los estados con mayor concentración de autogeneradores son Zulia, Distrito Capital, Anzoátegui, Carabobo, Lara y Miranda. Estos 1470 MVA implican un consumo adicional de combustible diesel que ha contribuido a la situación descrita en los apartados anteriores. En la figura 5 se muestra la capacidad de autogeneración por estados.

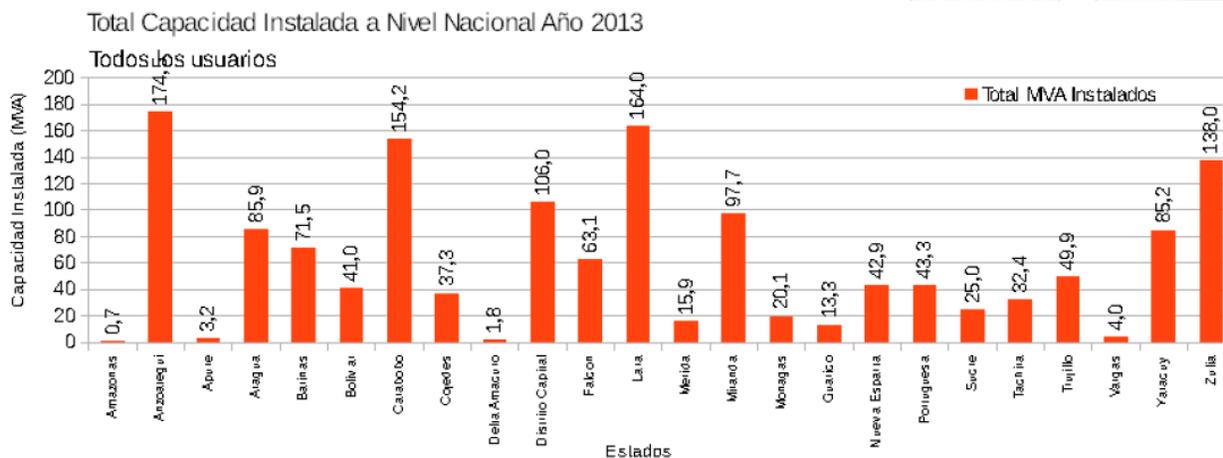


Fig 5 Capacidad instalada en autogeneración por estados del país
Fuente: Trabajo de Pasantías Bch. Daniel Ariza a partir de datos de CORPOELEC

Considerando lo establecido en el artículo 6 de la resolución Nro. 77, el régimen de funcionamiento de los sistemas de autogeneración (idealmente) implicaría unas 2400 horas anuales de operación. Empleando el programa de simulación de sistemas energéticos HOMER de la Alliance for Sustainable Energy se obtiene el consumo de combustible aproximado por autogeneración en cada estado, si se cumple cabalmente el contenido de la resolución Nro. 77. El cumplimiento a cabalidad de la resolución implicaría un consumo doméstico, por este concepto, de alrededor de 3500 millones de litros (20 millones de barriles) de diesel al año. Esto es incluso más que lo consume el parque termoeléctrico del estado Zulia, que ronda los 15 millones de barriles de diesel al año. En la figura 6 se muestra el consumo estimado anual de diesel por estado si se cumple a cabalidad la resolución nro. 77.

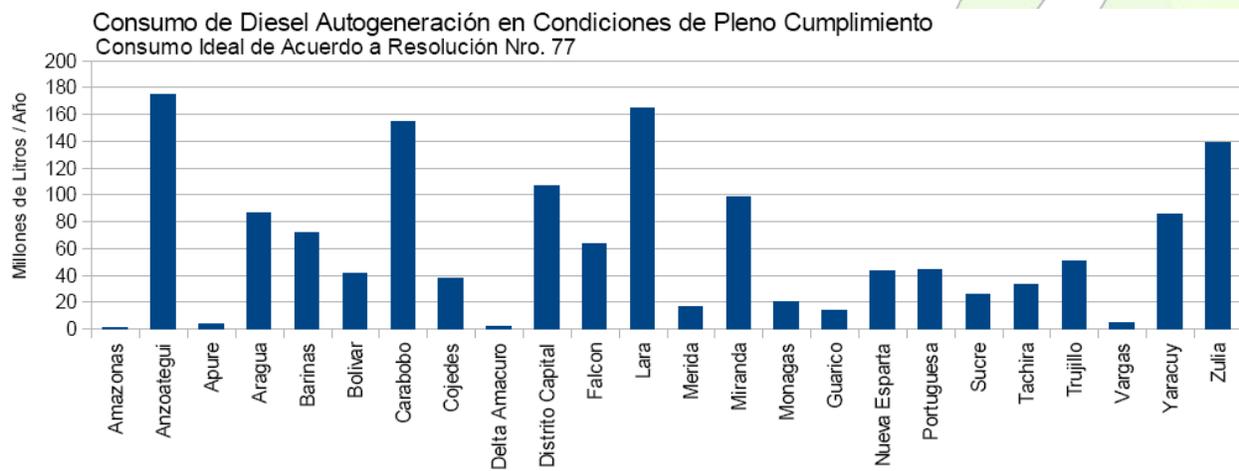


Fig 6 Consumo anual de diesel para autogeneración por estados
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CORPOELEC

III.A. ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ POR AUTOGENERACIÓN Y COSTO DEL KWH

Empleando la misma metodología descrita en el apartado II.A se estiman las emisiones de CO₂ debidas a autogeneración en cumplimiento cabal de las resoluciones. En la figura 7 se muestran los resultados de estos cálculos. El kWh de autogeneración tiene un costo de 0,40 \$/kWh lo que representa un 60% más que lo que cuesta producir la misma energía en estado Zulia.

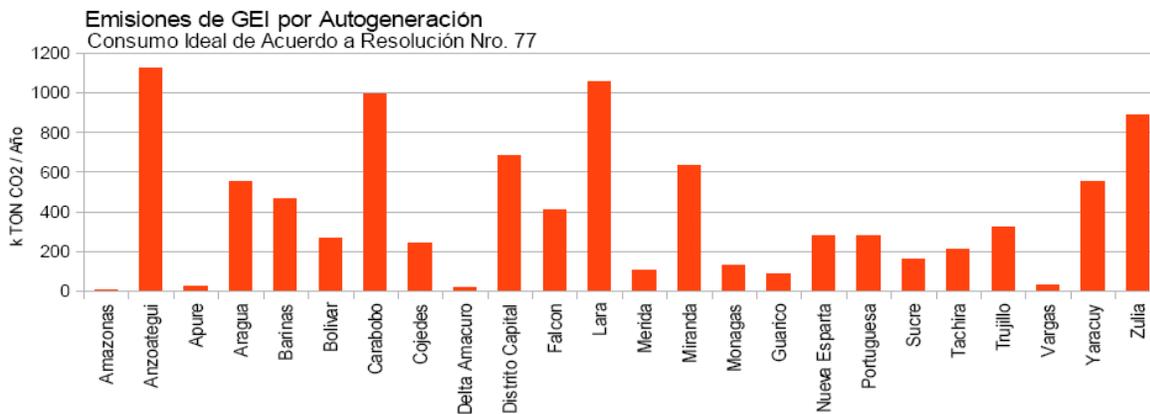


Fig 7 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Autogeneración
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CORPOELEC

III.B. AUTOGENERACIÓN Y ENERGÍAS RENOVABLES

Empleando el programa de simulación de sistemas energéticos HOMER de la *Alliance for Sustainable Energy*, se utilizaron las condiciones meteorológicas de la ciudad de Maracaibo para evaluar los costos operativos, producción de energía y costo del kWh de un sistema de autogeneración con energías renovables de 50 kW con uno equivalente convencional con motores diesel (figura 8). Considerando el costo del combustible diesel resultó que el valor presente neto de un sistema de 50 kW es menor empleando energías renovables, llegando incluso a ser de casi el 50% si se genera la totalidad de la energía con estos sistemas híbridos (eólica+solar+baterías+diesel). La contraparte son los grandes costos iniciales de estos sistemas en comparación con la autogeneración convencional a diesel (figura 9), llegando incluso a costar hasta 6 veces lo que un sistema convencional.

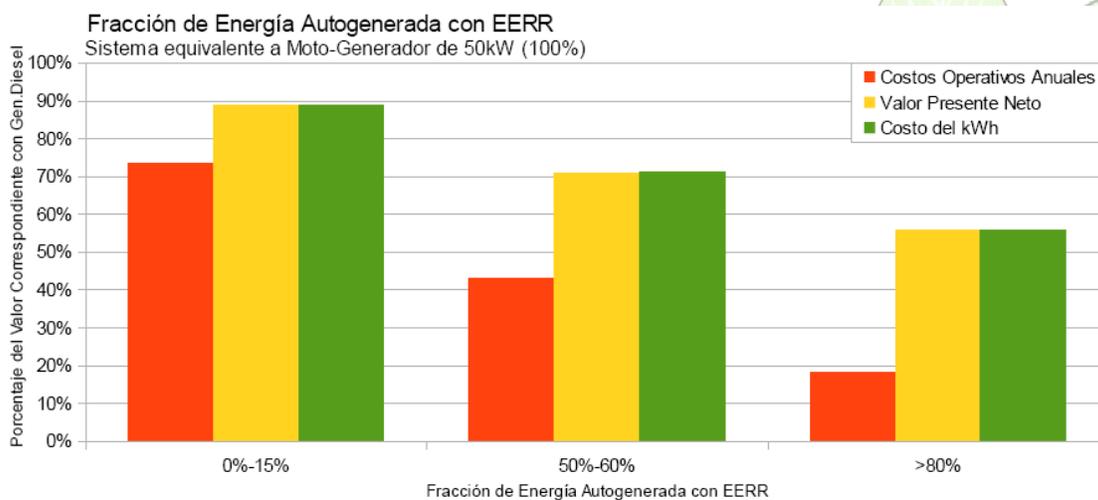


Fig 8 Comparación económica de sistemas de Autogeneración
Fuente: Elaboración propia a partir de datos Simulaciones en HOMER

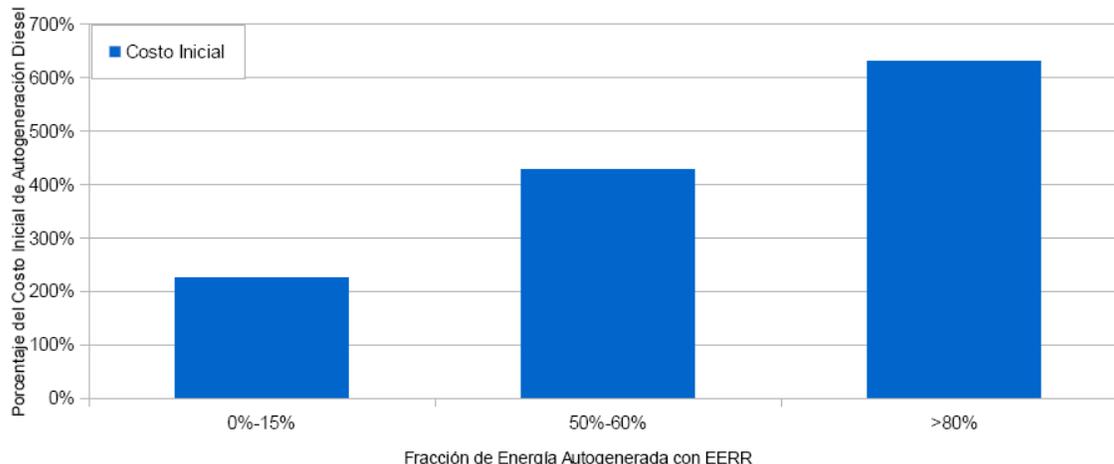


Fig 9 Comparación de costos iniciales de sistemas de Autogeneración
Fuente: Elaboración propia a partir de datos Simulaciones en HOMER

IV. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra un resumen de los resultados considerando los escenarios descritos en los apartados anteriores. Se debe tener en cuenta que, en el caso de la autogeneración, los datos son aproximados considerando un cumplimiento total de la resolución Nro.77. Los escenarios podrían combinarse (el Nro.1 con 2, 3 o 4). Para cualquier combinación de escenarios los beneficios económicos para la nación superan los 2000 millones de dólares anuales debido al ahorro de combustible diesel y su colocación el mercado internacional.

Escenarios		Reducción de Emisiones de CO2 (k TOH CO2 /Año)	Ahorro en DIESEL (Millones de Litros / Año)	Ahorro en DIESEL (Millones de Barriles / Año)	Beneficio Económico (Millones \$/ Año)
1	Reemplazo de Diesel por Gas en unidades duales del Estado Zulia	1500	2190	14,7	1752
2	Reemplazo de Autogeneración Diesel con EERR (0-15%)	1410	525	3	420
3	Reemplazo de Autogeneración Diesel con EERR (50-60%)	5170	1925	11	1540
4	Reemplazo de Autogeneración Diesel con EERR (>80%)	7520	2800	16	2240

Tabla 1 Comparación económica y medioambiental de escenarios propuestos
Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El costo de la generación termoeléctrica con diesel representa importantes pérdidas económicas para el país, además de contaminación y un aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, contribuyendo al proceso de cambio climático a nivel mundial.

Los sistemas de autogeneración con moto-generadores diesel representan un consumo doméstico de diesel que, conjuntamente con el consumo de las plantas termoeléctricas del occidente del país, agrava las condiciones del mercado doméstico de combustibles y compromete importantes ingresos para el país, para su desarrollo económico y beneficio social.

Se debe aprovechar el desarrollo del gas en los proyectos de costa afuera para poder alimentar el mercado interno y las plantas termoeléctricas del Zulia sustituyendo el uso del diesel, que podría exportarse. Así como también reformarse las resoluciones de eficiencia energética para incluir incentivos a la autogeneración con energías renovables, incluyendo subsidios al sector privado de hasta un 80% de los costos iniciales de estos sistemas.

REFERENCIAS

- [1] Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. And Tanabe K. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Volumen 2). Cap.1, Pag.1-5.IGES, 2006.
- [2] Organización de las Naciones Unidas. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Artículo 3, Pag. 3. 1998.
- [3] Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico. Artículo 5. Gaceta Oficial Nro. 39.573, 2010.
- [4] Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico. Numeral 34, Artículo 16. Gaceta Oficial Nro. 39.573, 2010.
- [5] Dudley B. BP Statistical Review of World Energy June 2013.
Retrieved from www.bp.com/statisticalreview.
- [6] Priddle R. Oil in Power Generation. Pag. 11-19.OECD/IEA, 1997.



- [7] Hoefft R., Gebhardt E. Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations. Pag. 8. GE Energy Services, 2002.
- [8] OPEC. Oil Demand by main Petroleum Products in OPEC Member Countries. Table 3.15. Viena, Austria. Retrieved from <http://www.opec.org>
- [9] Chávez H. Proyecto nacional Simón Bolívar. Primer plan socialista. Desarrollo económico y social de la nación 2007-2013. Pag. 40. 2007
- [10] ENERDATA. Global Energy Statistical Yearbook 2013. Tabla 21, 2013. Retrieved from <http://www.enerdata.com>
- [11] Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. And Tanabe K. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Volumen 2). Cap.1, Pag.1-25. IGES, 2006.

