

ENERGÍA, EMISIONES Y EFICIENCIA EN LA INDUSTRIA DE LOS HIDROCARBUROS

Andrea Afranchi y Andrea Heins (Energy Performance)

aa@energyperformancearg.com; ah@energyperformancearg.com

5.9. Medio Ambiente – Cambio Climático

1. Sinopsis

La producción de hidrocarburos consume energía la cual, en la mayoría de los casos, proviene de fuentes fósiles. A nivel mundial, el petróleo y el gas aportan el 54% de la producción de energías primarias. En toda su cadena productiva (upstream, midstream, refinerías, química y petroquímica) el 22,5% de la producción es utilizada como insumo energético.

El consumo de combustibles fósiles genera impactos ambientales negativos como el cambio climático y la contaminación atmosférica, situación esta que tiene lugar toda vez que se consume energía para extraer, tratar y transportar hidrocarburos. A pesar de que las emisiones de muchos contaminantes están siendo controladas gracias a la mejora de máquinas y herramientas, las consecuencias para la salud suponen una preocupación creciente, en particular las relacionadas con los óxidos de nitrógeno y el material particulado. Por otro lado, las emisiones de CO₂ (principal gas ligado al efecto invernadero) están creciendo y se considera a la “eficiencia energética” como la principal medida de mitigación.

En general en todas las industrias cualquier medida que se implemente en post de un menor consumo de energía, manteniendo o incluso incrementando los niveles de producción, mejora la competitividad por reducción de costos operativos, contribuye a mitigar el cambio climático y a reducir los impactos locales.

El estudio es una investigación cualitativa, se centra en un caso de estudio y busca ahondar en alternativas de reducción y cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs); incluyendo también una descripción acerca de las externalidades que podrían tener lugar en este tipo de proyectos.

En este contexto, el presente trabajo muestra un análisis de las oportunidades que ofrece la eficiencia energética mediante la implementación de medidas como la cogeneración y los ciclos combinados. La generación de electricidad utilizando turbinas de gas (TG) a ciclo abierto tienen un rendimiento térmico que puede rondar entre un 22 y 35 % (para las TG más modernas), si esos mismo equipos se integran en sistemas de ciclos combinados se obtienen rendimientos aproximados del 45% y superiores. Pero si se conforman sistemas de cogeneración se puede superar el 55/65% con facilidad. Estas mejoras cobran relevancia debido a que viabilizan un mejor uso de recursos no renovables, reduce emisiones de contaminantes y contribuye a mitigar el cambio climático. Además de ser más barato ahorrar energía que fabricarla se reduce la quema de combustibles fósiles mitigando el calentamiento global y contribuyendo de esta manera al desarrollo sostenible de la región y el país.

2. Introducción

Cada vez son más los países que utilizan plantas para captura del gas asociado al crudo para generar electricidad. En el año 2010, a nivel mundial, se derrochaban 150.000 millones de metros cúbicos los cuales generan emisiones de gases de efecto invernadero por unas 400 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) equivalente.

La ratificación del Protocolo de Kioto por parte de Argentina y la legislación actualmente vigente destacan la importancia que se le atribuye al tema del cambio climático y el ambiental en general. La minimización del venteo y la quema de gases en la producción de hidrocarburos se constituyen en una medida de reducción de emisiones de GEIs y en una reducción de impactos negativos locales.

Hacer un uso racional de los recursos no renovables y evitar el derroche permite disponer del mismo en un futuro, mejora el beneficio económico de las actividades de producción de hidrocarburos y posterga inversiones en infraestructura.

Evitar el derroche introduciendo buenas prácticas y medidas de eficiencia energética son actividades en total sintonía con las consideraciones anteriores, pero ¿en cuanto se mejora? La respuesta es conocida ... “depende”. Depende de las medidas a implementar y del sitio (entorno) donde las mismas tengan lugar. Es por ello que en este trabajo se desarrollan las principales alternativas para reducir el venteo y quema en antorcha de gases y, en función de las mismas, se cuantifica su potencial de reducción de emisiones de CO₂ equivalente.

3. Desarrollo

a) Estado de referencia

Con la finalidad de cuantificar el potencial y la importancia de aprovechar los gases generados en la producción de hidrocarburos se toma una de las posibles situaciones como caso de referencia.

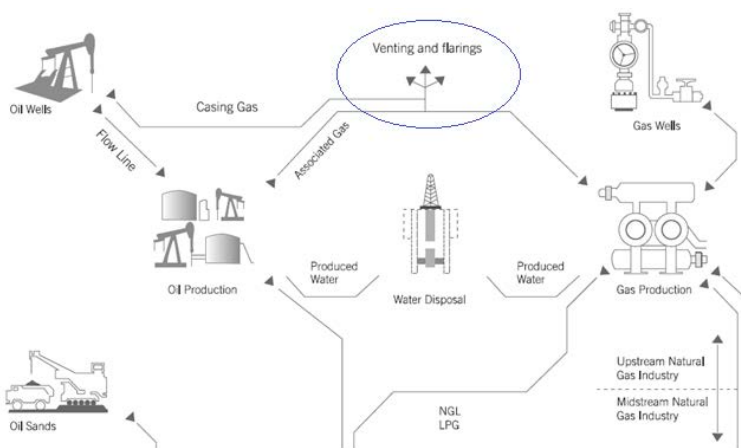


Figura 1) Imagen global de Oil&Gas -Desplegado de la herramienta ON TIME TOOL¹

¹ Reducción de emisiones de metano en el sector del petróleo y el gas – PETROTECNIA (febrero 2009).

Si bien existe y se utiliza el pedido, y posterior otorgamiento, de *permisos de excepción* para el venteo de gases, a los fines del presente estudio se considera que la totalidad de los mismos es quemada en antorchas. No se toma como caso de referencia el venteo sin quemar porque la emisión de metano, en lugar de dióxido de carbono, tiene mayor poder de calentamiento global. De esta manera se asume un escenario de línea de base conservador.

Por lo tanto el escenario de referencia contempla el envío y combustión de gases en antorchas.

b) Casos técnicos de aprovechamiento energético

Frente al caso de referencia se plantean diferentes opciones para el aprovechamiento de la energía que de otra manera se estaría degradando (la energía térmica se libera a la atmósfera sin ser aprovechada para otro fin).

Caso 1) TG a ciclo abierto: consiste en la instalación de una TG que consume el gas, que de otra manera sería quemado en la antorcha, para producir electricidad. Esta práctica es utilizada en varias zonas de producción de hidrocarburos, razón por la cual los cálculos técnicos de rendimientos y parámetros operativos de significancia se han basado en una turbina de características similares a una de las que se puede encontrar en campo. A continuación se muestra un esquema simplificado del proceso.

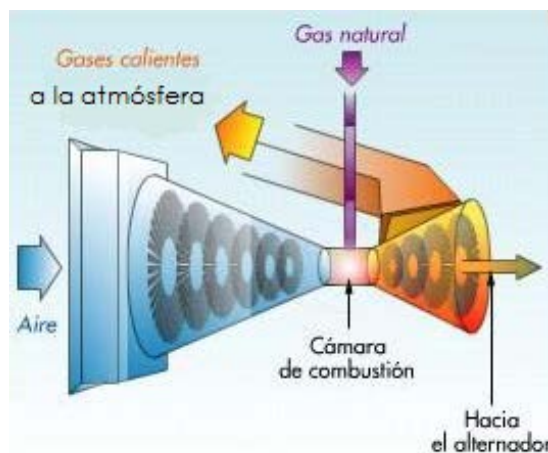


Figura 2) Esquema simplificado de un turbogenerador de electricidad operando a ciclo abierto.

Caso 2) Ciclo combinado: tomando como base el caso anterior, en lugar de ventear los gases calientes a la atmósfera (que se encuentran por encima de los 450°C) se los envía a un recuperador de calor para producir vapor. Este último luego se expande en una turbina de vapor incrementando la generación de electricidad. Se ha considerado que el generador de vapor no cuenta con quemadores de pos-combustión, es decir el calor a recuperar proviene solamente el del escape de la turbina de gas.

A continuación se muestra un esquema simplificado del proceso; cabe mencionar que el sistema de refrigeración puede ser reemplazado por un ciclo abierto sin afectar la generación de energía

eléctrica y minimizando los costos del proyecto; pero necesita de una fuente de agua disponible en forma permanente.

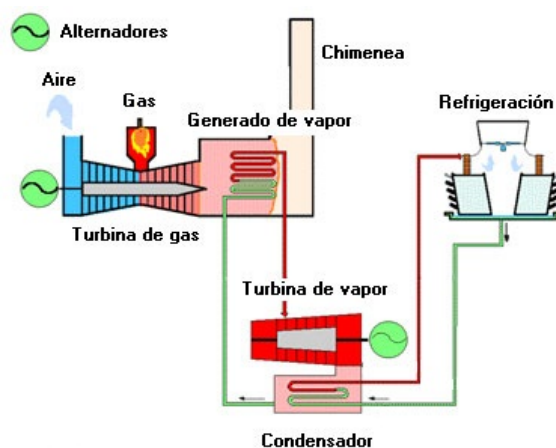


Figura 3) Esquema simplificado de un ciclo combinado.

Caso 3) Ciclo combinado + calor: este esquema nace como un desprendimiento del caso anterior con la finalidad de incrementar el aprovechamiento de los gases calientes. Se observó que, aún después de producir vapor de alta calidad para la turbina de vapor, los gases de chimenea están a temperaturas muy por encima de los 100°C. Surge así un esquema de proceso donde se introduce un recuperador de calor residual para producir vapor de baja presión para uso calórico, ver figura 4).

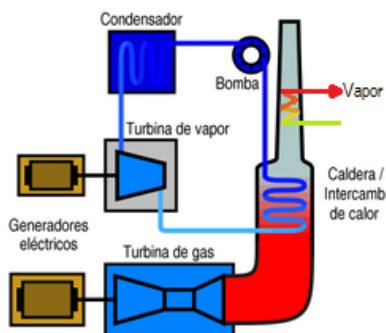


Figura 4) Esquema simplificado de un ciclo combinado y producción de vapor.

Caso 4) Ciclo combinado con combustión suplementaria: en lugar de aprovechar el calor residual mediante la recuperación de calor, caso 3, se plantea como alternativa utilizar quemadores en la caldera de recuperación de calor. Esta opción es muy atractiva técnicamente porque el escape de la turbina además de tener alta temperatura cuenta con una relación aire/combustible muy por encima de los requerimientos estequiométricos de una combustión. Por lo tanto se dispone de aire en exceso caliente lo que conlleva a un menor uso de combustible en la pos-combustión. En la figura siguiente se muestra la combustión suplementaria como un ingreso de gas natural, no necesariamente implica una composición equivalente al gas de red, pudiéndose utilizar otros combustibles disponibles en la zona.

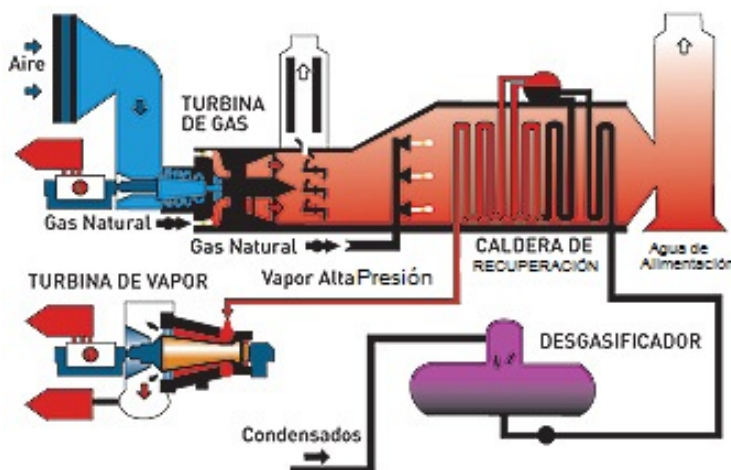


Figura 5) Ciclo combinado con combustión suplementaria.

Los proyectos de estas características son fuertemente específicos y requieren de estudios integrales y ad hoc para lograr maximizar el aprovechamiento de este recurso no renovable. Cabe recordar que los casos de estudio aquí planteados son modelos simplificados que buscan cuantificar oportunidades y que además pueden servir como idea de proyecto para justificar la profundización y estudio de futuros proyectos.

c) Resultados técnicos

Los resultados técnicos que se muestran a continuación surgen de modelos técnicos de análisis elaborados ad hoc; contruidos sobre la base de modelos anteriores validados contra casos prácticos concretos que estuvieron sujetos a arbitraje en congresos técnicos internacionales.

Los estudios preliminares se realizaron teniendo en cuenta cinco modelos diferentes de turbogeneradores, todos con datos provistos por los fabricantes. Esto permitió estimar parámetros técnicos de relevancia y realizar comparaciones de performance. Cabe mencionar también que se ha realizado la corrección de las condiciones ISO de las turbinas de gas empleadas.

Por tratarse este de un estudio para evaluar oportunidades de reducir emisiones de gases de efecto invernadero, se prioriza el análisis de resultados bajo un enfoque del tipo comparativo y teniendo en cuenta las premisas del IPCC². Se ha evitado la presentación de datos y comparaciones técnicas de alta especificidad para simplificar la exposición de los resultados y lograr concentrar la atención en el objeto del trabajo, las oportunidades de reducción de emisiones de GEIs.

A continuación se presentan los resultados de los casos de estudio para una TG de *General Electric* MS5001; la cual fue seleccionada por tratarse de un equipo cuyos parámetros de performance son de tipo intermedio (existen TG con rendimientos mayores y también menores). Pero es importante mencionar que este turbogenerador es del tipo heavy-duty, diseñado para trabajar en

² Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.

ambientes con temperaturas bajo cero, en presencia de nieve y vientos fuertes. Para todos los casos se usa la misma turbina de gas, no solo por una cuestión comparativa sino también para analizar diferentes alternativas operativas manteniendo de base el mismo equipo principal.

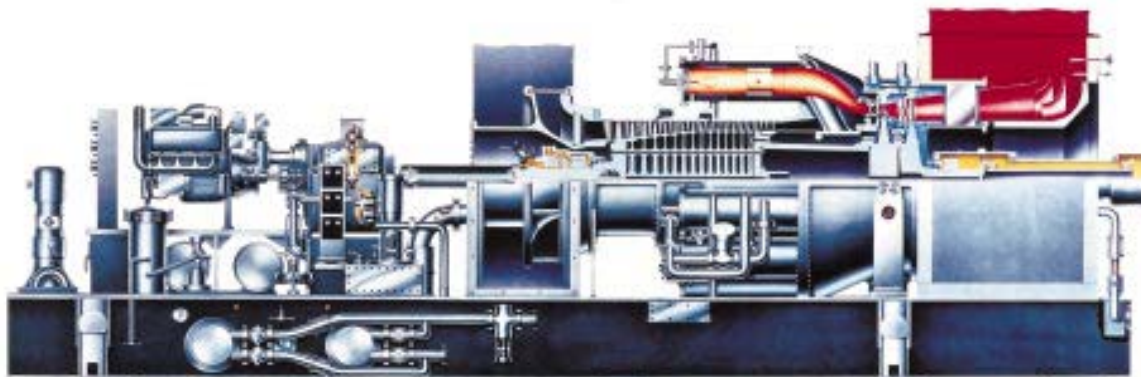


Figura 6) Turbina de Gas: MS 5001 - GE³.

Los principales parámetros técnicos del equipo se muestran en la tabla siguiente:

Tabla I

TG (modelo)	Potencia ISO (MW)	Cons. Esp. ⁴ (kJ/kWh)	Rendimiento (%)	Relación de Presión	Gases de Escape	
					Caudal (kg/s)	Temperatura (°C)
MS 5001	26,83	12.687	28,4	10,5	102	483

Seguidamente se muestran, en la Tabla II, los principales resultados obtenidos para cada uno de los casos de estudio antes descriptos.

Tabla II

Caso	Cons. Esp. (kcal/kWh)	$\eta_{\text{eléctrico}}$ (%)	Potencia Eléctrica (MW)			Producción Vapor (t/h)	T _{chimenea} (°C)
			TG	TV	Total*		
TG a ciclo abierto	3.059,4	28,1	26,4	-	25,8	-	485,8**
Ciclo Combinado	2.126,5	40,4	26,4	12,6	38,0	-	183
CC + calor	2.126,5	40,4	26,4	12,6	38,0	5	155
CC + fuego adicional	2.115,1	40,7	26,4	24,0	48,6	-	90

* La potencia eléctrica total tiene descontado el consumo eléctrico auxiliar.

** Temperatura de los gases de escape de la turbina, no son aprovechados.

El mayor aprovechamiento del combustible se ve reflejado no solo en el aumento de la producción de servicios energéticos sino también en la disminución de la temperatura de los gases que se liberan a la atmósfera.

Para la estimación de la reducción de emisiones de dióxido de carbono se extrajeron, del mismo modelo, los datos de consumo de gas y los energéticos a producir en cada caso. Cabe destacar que

³ Catálogo GE – Oil&Gas Gas Turbine (©2006 Nuovo Pignone S.p.A. all rights reserved)

⁴ Consumo Específico

se asume como gas de venteo a antorcha GN, por tratarse este del combustible a base de hidrocarburos con menor cantidad de carbono y por ende el de menor emisión de CO₂.

Los datos de consumos y producciones se muestran en base anual, para lo cual se ha considerado que las instalaciones operan 7512 horas al año (lo que equivale a 52 días fuera de servicio por año).

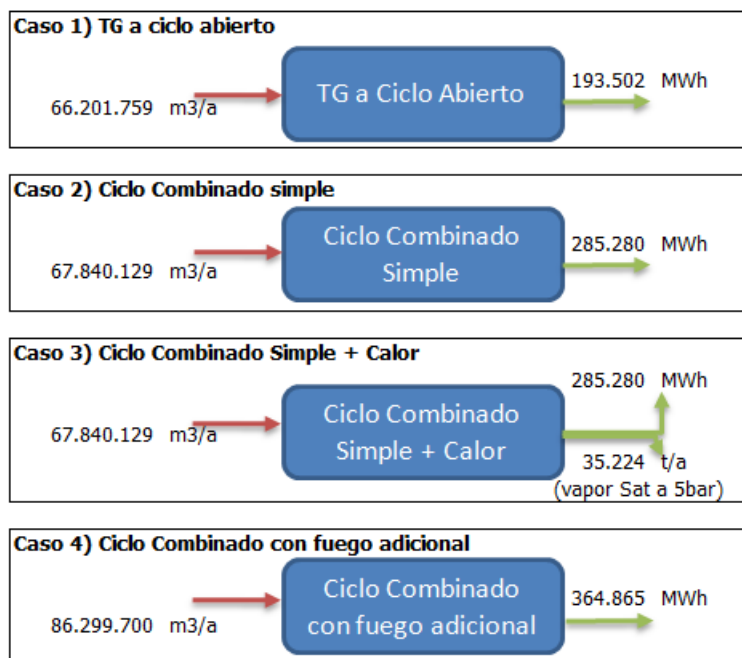


Figura 7) Resultados del modelo – Consumos y producciones de energéticos

d) Estimación de las reducciones de emisiones de GEIs

Para realizar el cálculo de las reducciones de emisiones se toma como línea de base (práctica habitual en ausencia del proyecto) el caso de referencia y cada uno de los cuatro casos planteados se mide en respecto a esta.

Como se mencionara anteriormente, la razón de tomar como business as usual la quema de gases en antorcha radica en la intención de asumir un escenario de línea de base conservador. Esto se debe a que la alternativa es el venteo sin quemar, con su consecuente venteo de metano (que tiene un poder de calentamiento global 20 veces superior al del dióxido de carbono).

Los datos para las estimaciones relacionadas al GN fueron extraídos de la “Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”. El factor de emisiones de la red eléctrica nacional de Argentina es el promedio de los factores de emisión de los últimos cinco años (desde 2007 al 2011), publicados por la Secretaría de Energía de la Nación⁵.

⁵ No se incluye el año 2012 porque aún ha sido publicado.

La principal reducción de emisiones de GEIs radica en el aprovechamiento de los gases calientes que se liberan a atmósfera (antorcha) para generar electricidad; desplazando combustible en alguna central termoeléctrica interconectada a la red eléctrica nacional. La recuperación de calor, que solo tiene lugar en el caso 3, resulta marginal por las características particulares del estudio pero en muchos casos prácticos la contribución de esta recuperación suele ser relevante.

En el caso del “ciclo combinado + recuperación de calor para uso calórico” se asume que la alternativa de producción de vapor tiene lugar en una caldera convencional con un rendimiento del 90% (se considera alta eficiencia para asumir una postura conservadora).

Cabe aclarar que, para trabajar con escenarios comparables, se toma una producción de gas idéntica para todos los casos incluyendo el caso de referencia. La cual queda definida por la demanda de gas del escenario con proyecto de ciclo combinado con combustión suplementaria.

Las emisiones de línea de base son las emisiones que se generan por quemar el gas en la antorcha. Mientras que para los escenarios con proyecto se va a consumir (quemar) la misma cantidad de gas (ya sea en la TG, antorcha o combustión suplementaria) pero, se descuentan las emisiones asociadas al desplazamiento de energía en otras instalaciones (se deja de consumir GN en una central térmica o en una caldera).

Los resultados de la reducción de emisiones se concentran en las tablas siguientes:

Tabla III

Caso 1) TG a ciclo abierto					
EscenarioLB; quema gas	86.299.700 m³/a	181.229 tCO_{2eq}/a			
consumo de GN en TG	66.201.759 m ³ /a	139.024 tCO _{2eq} /a	consumos		
envío de GN a Antorcha	20.097.942 m ³ /a	42.206 tCO _{2eq} /a			
Producción de EE	193.502 MWh/a	- 90.598 tCO _{2eq} /a	desplazamiento		
Escenario con Proyecto		90.632 tCO_{2eq}/a			
Reducción de emisiones por generación de EE (TG a ciclo abierto)		90.598 tCO_{2eq}/a			

Tabla IV

Caso 2) Ciclo combinado simple					
EscenarioLB; quema gas	86.299.700 m³/a	181.229 tCO_{2eq}/a			
consumo de GN	67.840.129 m ³ /a	142.464 tCO _{2eq} /a	consumos		
envío de GN a Antorcha	18.459.572 m ³ /a	38.765 tCO _{2eq} /a			
Producción de EE	285.280 MWh/a	- 133.568 tCO _{2eq} /a	desplazamiento		
Escenario con Proyecto		47.661 tCO_{2eq}/a			
Reducción de emisiones por generación de EE (CC Simple)		133.568 tCO_{2eq}/a			

Tabla V

Caso 3) Ciclo combinado simple + calor				
Escenario LB; quema gas	86.299.700 m ³ /a	181.229 tCO_{2eq}/a		
consumo de GN	67.840.129 m ³ /a	142.464 tCO _{2eq} /a		consumos
envío de GN a Antorcha	18.459.572 m ³ /a	38.765 tCO _{2eq} /a		
Producción de EE	285.280 MWh/a	- 133.568 tCO _{2eq} /a		desplazamientos
Desplazamiento GN (caldera)	2.784.796 m ³ /a	- 5.848 tCO _{2eq} /a		
Escenario con Proyecto		41.813 tCO_{2eq}/a		
Reducción de emisiones por generación de EE (CC Simple+Calor)		139.416 tCO_{2eq}/a		

Tabla VI

Caso 4) Ciclo combinado con fuego adicional				
Escenario LB; quema gas	86.299.700 m ³ /a	181.229 tCO_{2eq}/a		
consumo de GN	86.299.700 m ³ /a	181.229 tCO _{2eq} /a		consumo
envío de GN a Antorcha	- m ³ /a	- tCO _{2eq} /a		
Producción de EE	364.865 MWh/a	- 170.830 tCO _{2eq} /a		desplazamiento
Escenario con Proyecto		10.400 tCO_{2eq}/a		
Reducción de emisiones por generación de EE (CC con fuego Adic.)		170.830 tCO_{2eq}/a		

A continuación se muestran las emisiones de cada uno de los casos evaluados y sus reducciones correspondientes.

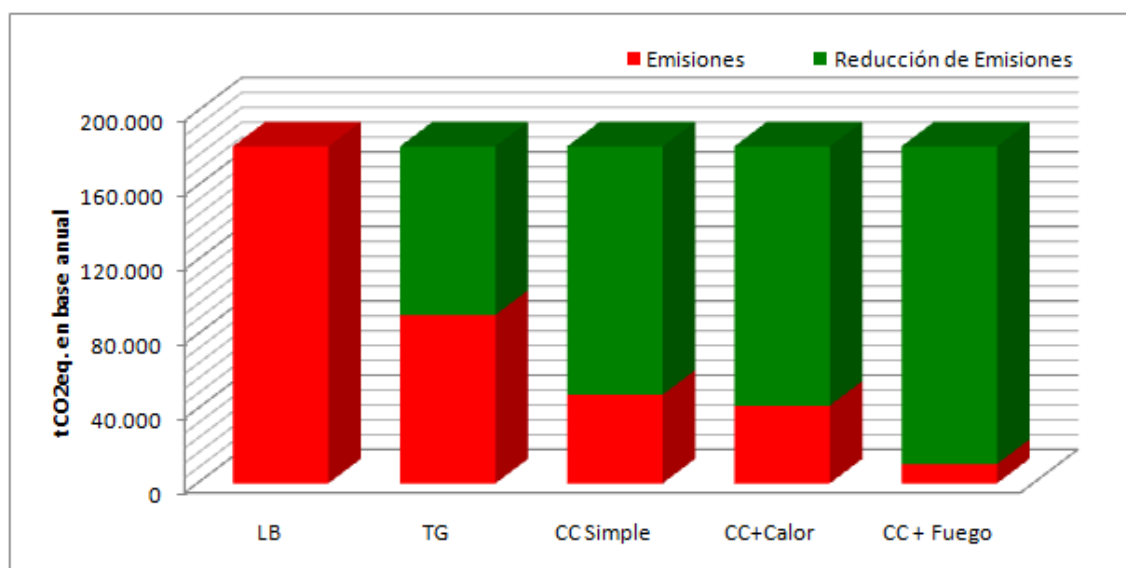


Figura 8) Emisiones y Reducciones de Emisiones para cada uno de los escenarios.

En concordancia con los resultados del punto anterior, a mayor aprovechamiento del gas mayor es el rendimiento del sistema y por ende la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es mayor.

e) Otras consideraciones

Es importante destacar que no en todas las áreas productivas se tiene acceso al sistema eléctrico interconectado, pero se considera de importancia cuantificar el beneficio al ambiente que tiene este tipo de proyecto.

En caso de zonas aisladas podrían estudiarse alternativas para el suministro de energía en redes aisladas, suministro de electricidad a pequeños poblados cercanos, destacamentos, escuelas rurales, etc.. Suministro de calor / agua caliente domiciliaria (sistema del tipo district heating) y hasta incluso suministro de gas por redes. Cualquier alternativa que haga un mejor uso de los recursos no renovables redunda en un beneficio para las empresas, la sociedad y el ambiente.

Cabe mencionar que en los cálculos de estimación de emisiones no se ha tenido en cuenta las emisiones fugitivas para ninguno de los casos, por considerarse que los sitios de línea de base y de emplazamiento del proyecto son los mismos.

4. Conclusiones

Puede decirse que cualquier medida de eficiencia energética va de la mano de un mejor uso de los recursos, en este caso no renovables, y por ende contribuye al cuidado del ambiente.

Las alternativas planteadas en el presente trabajo ya se dan cita en algunas áreas de producción de hidrocarburos en Argentina, pero también siguen emitiéndose permisos de excepción para el venteo de gases. Y es aquí donde radican las oportunidades.

Desarrollar un proyecto de aprovechamiento de gases es como hacer un traje a medida, no solo depende de las tecnologías disponibles y las características del gas a recuperar sino también de las particularidades de la región. En algunos casos puede ser relevante la generación eléctrica pero en otros puede ser atractiva la distribución de calor y/o del gas como combustible. En estos últimos casos el impacto social es altamente relevante y significativo para la empresa y la región.

La implementación de este tipo de actividades está en total concordancia con el marco normativo regulatorio nacional y regional. Reduce las prácticas irracionales (conservación del recurso), resguarda la salud de las personas, evita daños al ambiente local/regional y reduce emisiones de gases de efecto invernadero.

Para difundir la instalación de plantas de captura de esos gases el Banco Mundial creó la Asociación Mundial de Recuperación de la Quema de Gases (GGFR, de sus siglas en inglés). Es una entidad público-privada de gobiernos, empresas estatales y las principales petroleras

internacionales que se comprometieron a reducir la quema y venteo de gases a nivel mundial. Esto da cuenta de la importancia y relevancia del tema a nivel mundial, tenemos la oportunidad de sumarnos a una buena causa.

Consideramos que haber hecho el ejercicio de poner en números uno solo de todos los beneficios asociados a este tipo de mejoras contribuye a impulsar buenas prácticas y esperamos que dé lugar a espacios de debate tendientes a minimizar el derroche de un recurso que puede no estar disponible para nuestros hijos o nietos.

5. Referencias – bibliografía

- Reducción de emisiones de metano en el sector del petróleo y del gas; autores: Carey Bylin y Jorge Plauchú. Revista Petrotecnia – febrero de 2009.
- Factores de emisión de la red eléctrica de argentina, extraídos de la página web de la Secretaría de Energía el 15 de abril de 2013. <http://energia3.mecon.gov.ar>
- Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, extraído de la página web de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación en marzo de 2010. http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/File/home_documentos/Informe_Final_2CN.pdf
- “COGENERACIÓN EN LA INDUSTRIA QUÍMICA - PETROQUÍMICA A PRINCIPIOS DEL SIGLO XXI”; autor: Andrea Afranchi. COPIME La Revista, Nº26 – ISSN: 1668-5857. <http://www.copime.org.ar/magazines>
- Catálogo GE – Oil&Gas Gas Turbine (©2006 Nuovo Pignone S.p.A.)
- Referencias del modelo de cálculo:
 - o Reinker, J.K.; P.B.Mason, P.B.: Steam Turbines for Large Power Applications. G.E. Power Systems, Schenectady, N.J. Publicación GER 3646 D, 1996.
 - o Retzlaff, K.M.; Ruegger, W.A.: Steam Turbines for Ultra-super-critical Power Plants. G.E. Power Systems, Schenectady, N.J. Publicación GER 3945, 1996.
 - o Gas Turbine World 2009 Handbook. For Project Planning, Engineering, Construction and Operation. Pequet Publishing Inc. USA. ISSN 0747-7988
 - o Gonzalez Pozo: Formulas estimate properties for dry saturated steam. Chemical Engineering, 1986, pp 123.
 - o American Society of Mechanical Engineering, Correlations for Superheated Steam Properties, 1967, en Ganapathy, V. “Waste Heat Boiler Deskbook. The Fairmont Press. Liburn, GA. USA. 1991.