



ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, PARA MODERAR EL CAMBIO CLIMÁTICO PROVOCADO POR LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

Juan José Martínez Cosgalla

ESIME Unidad Azcapotzalco

jmartinezc@ipn.mx

J. Santana Villarreal Reyes

ESIME Unidad Azcapotzalco

svillarreal@ipn.mx

Gerardo Irving Arjona Ramírez

ESIME Unidad Azcapotzalco

garjona@ipn.mx

Resumen

En las últimas décadas, nuestro planeta ha sufrido serios problemas debido al cambio climático (CC), generado principalmente por la emisión de gases efecto invernadero (GEI). Estos problemas han causado, entre otros efectos, el incremento de la temperatura del planeta. La energía eléctrica se genera principalmente en las plantas termoeléctricas, por la combustión de combustibles fósiles, como el carbón, el gas natural y los combustibles derivados del petróleo, lo que contribuye a generar altas cantidades de GEI. En este trabajo desarrollamos una comparación entre el uso de centrales nucleares y unidades de ciclo combinado, presentando las ventajas y desventajas de cada sistema. Con esta comparación, demostramos que las unidades de ciclo combinado son la solución más apropiada para satisfacer la demanda de energía eléctrica en el mundo, sin incrementar significativamente la generación de GEI.

Palabras clave: cambio climático, efecto invernadero, medio ambiente, energía nuclear, ciclo combinado.

A través de la historia de nuestro planeta, se han manifestado diversos cambios en el sistema climático (CC), sobre todo en los primeros milenios de su formación; muchas de estas transformaciones han sido originadas por causas naturales como son: variaciones en la excentricidad de la tierra, modificaciones en su órbita, intensa actividad volcánica o colisiones de meteoritos (Rivera, 1999).

Sin embargo, desde hace aproximadamente 10,000 años, la tierra ha mantenido una relativa estabilidad climática, pero en una época cercana se ha observado un incremento de la temperatura media anual, sobre todo en las últimas dos décadas. Por ejemplo, once de los años más calurosos registrados desde 1850 ocurrieron entre 1995 y 2006 (Cornwall, 2008).



Con base en estudios científicos confiables, se ha determinado que es el hombre la principal causa del cambio climático. Son las actividades humanas las que alteran, de forma directa o indirecta, la composición de la atmósfera y que al agregarla a la variabilidad climática natural del planeta, han provocado que el clima global se haya alterado de manera significativa en el presente siglo. Lo anterior ha sido provocado por el incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI), como son el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), los óxidos de nitrógeno (N_2O) y los clorofluorocarbonos (CFCs) (Monterroso *et al.*, 2007)

Según un estudio de la Comisión Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés, 2007), se determinó que las concentraciones de CO_2 durante el periodo 1750-2005 aumentaron en un 35% y continúan aumentando en alrededor de 0.4% cada año, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles y al cambio del uso de los suelos. Para México se estima un 2% de crecimiento anual de las emisiones de efecto invernadero (GEI) (Cabal, 2008).

Los cambios en la concentración de los GEI, provocan cambios regionales y globales en la temperatura así como otras variaciones climáticas, trayendo como consecuencia cambios globales en la humedad del suelo, derretimiento de los glaciares, aumentos en el nivel de los mares y la frecuente presentación de eventos extremos como huracanes, frentes fríos, inundaciones y sequías (Houghton *et al.*, 1996).

Frente a este cambio climático global, los ingenieros tenemos un gran reto: la reducción de las emisiones y la recaptura de los gases de efecto invernadero, para lo cual, es necesario establecer una serie de estrategias, que permitan

que no aumente la temperatura anual promedio más de 2° C.

La generación de energía eléctrica y el medio ambiente.

Hasta ahora, la generación de energía eléctrica en el mundo depende primordialmente de combustibles fósiles.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) en 1999, el 63% de la producción de electricidad fue en centrales térmicas (con combustión de derivados del petróleo, gas natural y carbón), el 17.2% en centrales nucleares, el 17.5% en plantas hidroeléctricas y 1.6% mediante otras fuentes de energía.

En ese mismo año, el principal combustible empleado para la generación de electricidad fue el carbón con 38.1%, seguido a su vez del gas natural con 17.1% y los derivados del petróleo con 8.5%. Se espera que para 2021 la participación del gas natural como combustible, se incremente a un nivel mundial de 26.5% y que el empleo del carbón y de la energía nuclear se reduzcan en un 31.7% y 12.2% respectivamente. Así mismo, de acuerdo con la Administración de la Información de Energía (EIA, por sus siglas en inglés), las energías renovables representarán el 20% de la producción de la energía eléctrica.).

Uno de los inconvenientes del uso de combustibles fósiles son las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero, principalmente el bióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el bióxido de azufre (SO_2), los hidrocarburos no quemados (HC) y las partículas suspendidas.

Las perspectivas del incremento del consumo de electricidad y los consecuentes problemas ambientales por la combustión

parecen favorecer a la energía nuclear. Sin embargo, los problemas de seguridad originados por desechos radioactivos de alto nivel así como las características de la estructura actual del sector eléctrico, desfavorecen el uso de esta tecnología en el corto plazo.

La energía nuclear para la producción de energía eléctrica.

La energía nuclear ha marcado ventajas sobre otras fuentes de energía. Casi no produce emisiones de carbono, a diferencia del gas natural, el petróleo o el carbón. Así mismo, las plantas nucleares pueden ser ubicadas en una amplia variedad de lugares a diferencia de las hidroeléctricas. Es muy adecuada para contribuir en las innovaciones como la electrificación del transporte o la cogeneración de hidrógeno, como se muestra en la figura 1.

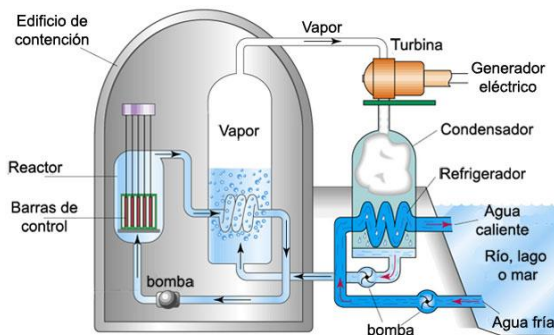


Fig. 1.- Partes de una central nuclear. Fuente: <https://sites.google.com/site/nuclearmunoz/home/3-el-reactor-nuclear/3-1-caracteristicas-de-un-reactor-nuclear>

A principios de esta década, se habló de un Renacimiento Nuclear, con cientos de nuevas plantas nucleares a construir. Sin embargo, la industria nuclear en el mundo llamado industrializado se ha visto señalado por el estancamiento y la reversión, en lugar de un

renacimiento. Se están construyendo pocas plantas nuevas y se están retirando las plantas existentes.

Existen algunos factores que han llevado al estancamiento del crecimiento de esta industria, como son:

- Las consecuencias de los accidentes del reactor de Chernóbil y Fukushima.
- El aumento de la producción no convencional de petróleo y gas.
- La pérdida de confianza en el costo final del proyecto, hasta su conclusión.

Desde el accidente nuclear de Fukushima en marzo de 2011, la participación nuclear en la producción mundial de electricidad se ha reducido del 14% hasta alrededor del 10% en la actualidad, toda vez que la generación neta ha aumentado al operar unidades existentes por más tiempo. Las unidades más antiguas se están retirando y la construcción de nuevos reactores nucleares es mínima (excepto en China), de tal manera que el número de reactores operativos en el mundo aumentó en sólo 5 de 2011 a 2019.

En el mundo actualmente, 31 países tienen operando reactores de energía nuclear, con una capacidad instalada total de aproximadamente 400 GW, y desde marzo de 2011, la capacidad neta de un reactor operativo ha aumentado en 23 GW. Esto es relativo, ya que China agregó 34 reactores en ese periodo, mientras que Alemania, Japón, el Reino Unido y los Estados Unidos, redujeron el número de reactores en 37.

Para el futuro, 18 de los países que operan actualmente reactores de energía nuclear, planean agregar nuevas unidades, al mismo tiempo que cinco países (Bangladesh, Bielorrusia, Egipto, Turquía y los Emiratos



Árabes Unidos), tienen planeado poner en operación sus primeros reactores.

Sin embargo, la actividad de nuevas construcciones está dominada por fabricantes apoyados por el estado de China, Rusia y Corea del Sur, a través de financiamiento y apoyo político. La razón de este tipo de financiamiento se debe a que los proyectos recientemente terminados y los posibles diseños a desarrollar son más caros que otras alternativas de generación, como pueden ser las plantas que queman gas natural.

La clave para el despliegue exitoso de cualquier concepto o diseño nuclear nuevo o de próxima generación es la capacidad de competir contra las alternativas de energía disponibles, especialmente en mercados locales de energía o nacionales.

Evaluación de los proyectos nuevos

Esto no es ninguna ciencia especial, pero requiere un pensamiento objetivo y racional. Los requisitos y desafíos internos para cualquier nuevo concepto, diseño o tecnología nuclear se puede resumir de la manera siguiente:

- Deben de ser más seguros que las generaciones anteriores de tecnología nuclear.
- Deben estar considerados dentro de un riesgo financiero y un costo de capital bajos.
- Deben ser factibles de construir en poco tiempo.
- Se debe de poder obtener la autorización para su instalación y operación por parte de las autoridades nacionales.
- Deben ser seguros y fáciles de operar.
- Deben de tener un suministro de combustible asegurado y sostenible.
- Deben proporcionar valor social y aceptación.

- Deben de ser competitivos con respecto a la generación de energía a menor costo

Los costos de montaje, producción de combustible y desmantelamiento al cumplir su vida útil, son difíciles de reducir sustancialmente, por lo que, para satisfacer las necesidades del mercado, la reducción del costo de capital y operación es el objetivo para alcanzar. Esto es un fuerte argumento en contra de construir plantas grandes, ya que la experiencia reciente de construcción en China, Europa y los Estados Unidos, muestra que las grandes plantas a menudo requieren más de 5 años para terminar el proyecto, hasta la puesta en operación, o experimentan retrasos significativos que encarecen considerablemente el proyecto.

Ante esta situación, el objetivo actual es proyectar la construcción de módulos, para reducir los costos de capital y operación, y acortando los tiempos de construcción. Construir unidades más pequeñas para formar módulos, a fin de disminuir el riesgo y el costo.

El concepto de reactor modular pequeño (SMR, por sus siglas en inglés), se basa en que cada unidad de reactor que se construye es una especie de fábrica que se envía al lugar de ubicación, en lugar de construirse en campo.

Para que la nueva energía nuclear contribuya de forma significativa a la lucha contra la contaminación del planeta, se requiere un programa de construcción modular a gran escala: construir muchas SMR desde ahora hasta 2050.

Las centrales de ciclo combinado

Desde los inicios de la industria eléctrica, la investigación y el desarrollo tecnológico han sido factores muy importantes en el aprovechamiento de la energía que contienen los combustibles fósiles. A pesar de los esfuerzos realizados en el desarrollo de las fuentes de energía renovable, como son: solar, oceánica, mareomotriz, térmica, biomasa,

celdas fotovoltaicas y otras, estas sólo han logrado satisfacer requerimientos locales y su aprovechamiento no se ha podido explotar a gran escala.

La producción descentralizada en pequeña y mediana escala ha sido posible gracias al perfeccionamiento de las turbinas de combustión que utilizan como combustible gas natural y su aplicación a las plantas generadoras de ciclo combinado (CCGT, por sus siglas en inglés) y en los sistemas de cogeneración, como se muestra en la figura 2.

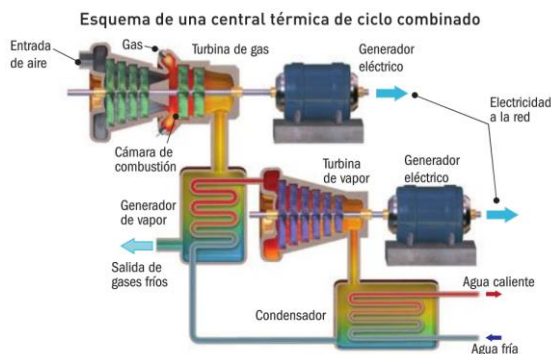


Fig. 2.- Diagrama de una central de ciclo combinado.
Fuente: <https://electrosol2.blogspot.com/2018/12/central-termica-de-ciclo-combinado.html>

Las características principales de las centrales de ciclo combinado son:

- Mayor eficiencia térmica. Actualmente las centrales de ciclo combinado alcanzan eficiencias de 58% y un aprovechamiento de combustible de casi 90%, en el caso de producción combinada de energía térmica y eléctrica. Lo anterior no solo representa beneficios económicos debidos a la reducción de combustible, sino también ventajas ambientales al emitirse a la atmósfera menores emisiones contaminantes y globales.
- Menores costos y tiempos de instalación. Las centrales de ciclo combinado se caracterizan por su menor costo de inversión y por su rápida puesta en marcha. La turbina de combustión se puede poner en operación en un plazo de ocho meses, suministrando

2/3 de la potencia total de la planta. La construcción de la turbina de vapor, que suministra 1/3 de la potencia, se instala de ocho a doce meses adicionales.

- Carácter modular de las centrales de ciclo combinado. Las centrales de ciclo combinado se conciben en forma de instalaciones modulares destinadas exclusivamente a la producción de energía eléctrica o como instalaciones que suministran energía eléctrica y térmica para el consumo industrial.
- Menor requerimiento de espacio y de agua. Una de las principales características de una central de ciclo combinado es su menor consumo de agua en relación con una termoeléctrica convencional, ya que este tipo de centrales utiliza en promedio una tercera parte del agua necesaria en el sistema de enfriamiento y en el ciclo de vapor. Actualmente los ciclos combinados emplean sistemas de enfriamiento en seco o híbrido, lo que reduce el consumo de agua en forma significativa.
- Capacidad de utilizar una gran diversidad de combustibles. Una de las características de las centrales de ciclo combinado es su capacidad de utilizar una gran diversidad de combustibles: gas natural, productos de la refinación del petróleo, combustibles gasificados del petróleo y del carbón, biomasa, etc. Esta capacidad disminuye la dependencia a una sola fuente de energía.
- Reducción de los niveles de emisiones contaminantes. La combustión de gas natural reduce considerablemente los niveles de emisiones contaminantes. Debido a su composición química, principalmente metano (CH_4), su combustión completa está casi libre de SO_2 y partículas, produciendo a su vez menores niveles de CO y CO_2 en comparación con otros combustibles fósiles. Sin embargo, las elevadas temperaturas de combustión producen NO_x térmicos y de combustible.



En la actualidad existen diversos métodos para reducir los niveles de NO_x emitidos por una turbina de combustión. Los principales son: la combustión de mezclas aire/combustible con exceso de aire; la inyección de vapor o agua a la cámara de combustión; el diseño especial de la cámara de combustión y la reducción catalítica selectiva.

- Reducción de emisiones de bióxido de carbono (CO₂). La tecnología de ciclo combinado es una alternativa para la producción de energía eléctrica a través de combustibles fósiles con menores emisiones de bióxido de carbono.

Conclusiones

Las características de las centrales de ciclo combinado como son su elevado rendimiento energético, la confiabilidad de operación, sus bajos niveles de emisiones contaminantes, los mejores costos de operación y mantenimiento, la rápida construcción y puesta en marcha, entre otras, favorecen su uso bajo el actual proceso de reforma del sector eléctrico, lo que facilita la generación descentralizada de energía en pequeña y mediana escala.

Es importante impulsar la investigación y desarrollo (I+D) de energías alternas para reducir la dependencia en el mediano plazo de los combustibles fósiles, lo cual será imprescindible por el incremento esperado de los combustibles fósiles en las próximas décadas y para abastecer el incremento en la demanda futura de energía eléctrica.

Referencias

- Alonso, A. 2004. **Sobre la energía nuclear y la percepción social de sus riesgos**. Revista ambienta. Septiembre. Pp. 37-42.
- Energy Information Administration (EIA) 2002. **International Energy Outlook**, 2002.
- Cabal, Y. 2008. **Cambio climático, situación actual y perspectiva para Tabasco**. En primer Foro Cambio Climático en el Estado de Tabasco. Comisión de Ecología, Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. H. Congreso del Estado de Tabasco.
- Cornwall, C. 2008. **La verdad sobre el calentamiento global**. Selecciones Reader's Digest. Pp: 37-43.
- Duffey, R. & Pioro, I. 2019. **Ensure the Future of nuclear power**. Mechanical Engineering. The Magazine of A.S.M.E. November 2019, pp 30-35.
- Honty, G. 2011. **Energía Nuclear en América Latina**. Revista Nueva Sociedad No. 234, julio-agosto, pp. 32-44.
- Houghton, J., Meira, L., Chander, B., Harris, N., Kattenberg, A. & K. Maskell. 1996. **Climate Change 1995: the science of climate change**. Cambridge University Press, Cambridge.
- International Energy Agency (IEA) 2001. **Key World Energy Statistics form the IEA**.
- Laguna, I. 2019. **La generación de energía eléctrica y el ambiente**. Gaceta ecológica No. 65. Pp. 53-62
- Monterroso, A., Gómez, J., Tinoco, J. y Estrada. 2007. **Impacto del cambio climático sobre dos especies representativas del trópico mexicano Cedrela odorata y Swietenia macrophylla en la península de Yucatán**. En: I Congreso sobre Manejo de Ecosistemas y Biodiversidad. Memorias. Ministerio de Medio Ambiente. Cuba.
- Rivera-Avila, M. A. 1999. **El cambio climático**. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D. F.d
- Santiago, J., López, M. y López, S. 2008. **Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados**. Ra Ximhai, septiembre-diciembre, año/Vol.4, Número 3.



Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional



Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957

Universidad Autónoma Indígena de México.
Machicahui, El Fuerte, Sinaloa, pp. 625-633.