

enerLAC

Revista de
Energía de
Latinoamérica
y el Caribe

Cambio climático
en la eficiencia
de centrales
termoeléctricas

*International
Tendencies on
Energy Security:
National Policies*

*Análisis de la
Primera
Generación Eólica
Argentina*

Potencial Energético
de corrientes de las
mareas en el litoral
argentino

Mercado de Gas Natural
en Sudamérica y la nueva
posición Competitiva
de Bolivia



COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco
SECRETARIO EJECUTIVO DE OLADE

Pablo Garcés
ASESOR TÉCNICO DE OLADE

Marcelo Vega
COORDINADOR DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DE LA
ASOCIACIÓN DE UNIVERSIDADES GRUPO MONTEVIDEO
(AUGM)

COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL
Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS
Pablo Garcés
Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN
Blanca Guanocunga. Bibliotecaria OLADE.

COLABORADORES

Raquel Atiaja. *Técnica de Área Informática OLADE*

Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación*

REVISORES

Rubén D Piacentini. *Universidad Nacional del Rosario
(UNR). Argentina*

Byron Chilibingua. *Consultor independiente. Ecuador*

Walter Gustavo Morales. *Universidad Tecnológica Nacional
(UTN). Argentina*

José Medardo Cadena. *Organización Latinoamericana de
Energía (OLADE). Ecuador*

Héctor Chávez. *Universidad Santiago de Chile (USACH). Chile*

Andrés Schuschny. *Organización Latinoamericana de Energía
(OLADE). Ecuador*

Alejandro Gutiérrez Arce. *Universidad de la República
(UDELAR). Uruguay*

Ramiro Rodríguez. *Universidad Nacional de Córdoba
(UNC). Argentina*

Guillermo Garrido. *Instituto Nacional de Tecnología Industrial
(INTI). Argentina*

Mauricio Medinaceli Monrroy. *Consultor independiente.
Bolivia*

Christian Hernández Martínez. *Instituto Mexicano del
Petróleo (IMP). México.*

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía
(OLADE) 2019. Todos los derechos reservados.

ISSN: 2602-8042 (Impresa)
ISSN: 2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y
Fernández Salvador.
Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>
Página web OLADE: www.olade.org
Mail ENERLAC: enerlac@olade.org

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995 /
2599-489

Fotografías de la portada y contraportada licenciada por
Ingram Image.

NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad
de los autores y no comprometen a las organizaciones
mencionadas.



EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EFICIENCIA DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

Fabio García ¹

Recibido: 14/05/2018 y Aceptado: 04/02/2019
ENERLAC. Volumen III. Número 1. Septiembre, 2019 (10-20).



¹ Ingeniero Mecánico. Especialista en planificación energética de OLADE, con más de 25 años de experiencia laboral en esta Organización. fabio.garcia@olade.org

Resumen

En varios países de América Latina y el Caribe (ALC), ha tomado gran relevancia el tema de los efectos del Cambio Climático sobre la generación hidroeléctrica, principalmente en aquellos cuya matriz eléctrica tiene alta dependencia de los recursos hídricos. Sin embargo, poco se habla de los efectos de este fenómeno climático sobre la generación térmica, que es el soporte energético del sector eléctrico de la mayoría de países de la región. En el presente artículo, se pretende llamar la atención sobre el efecto que un incremento en la temperatura ambiental debido al cambio climático, tendría sobre la eficiencia de las máquinas térmicas y específicamente de las centrales termoeléctricas. Con este objetivo se presenta el fundamento teórico de la influencia de la temperatura ambiente sobre el ciclo ideal de Carnot y como ejemplo práctico, sobre el ciclo Rankine, principio termodinámico de las centrales turbo vapor; y adicionalmente se analizan los resultados de un estudio específico realizado sobre este tema por algunos expertos internacionales.

Palabras Clave: Cambio Climático, Ciclo Carnot, Ciclo Rankine, Generación Térmica, Máquina térmica, América Latina.

Abstract

In several countries of Latin America and the Caribbean (LAC), the issues related to the impact of Climate Change on the hydroelectric generation are of high relevance, particularly on those countries whose energy grid depends mostly of hydric resources. However, the impact of the climate adversity in thermal generation has not been widely analyzed. Since such technology represents a major support to the electricity subsector of many countries across the region, the present article focuses on the effects of climate change on the ambient temperature and subsequent impact on the efficiency of thermal machines and specifically on thermal power plants. With this objective, we present the theoretical basis of the influence of the ambient temperature on the ideal Carnot cycle and as a practical example, on the Rankine cycle, thermodynamic principle of turbo steam power plants; in addition, the results of a specific study conducted on this topic by some international experts are analyzed.

Keywords: Climate Change, Carnot Cycle, Rankine Cycle, Thermal Generation, Thermal Machine, Latin America.

INTRODUCCIÓN

Cerca del 50% de la matriz de generación eléctrica de la región de América Latina y El Caribe (ALC), depende de la hidroenergía, motivo por el cual, ha cobrado gran relevancia el análisis de cómo el Cambio Climático puede afectar dicho recurso. Es así que, OLADE con apoyo financiero multilateral, principalmente del BID, desarrolló un estudio de vulnerabilidad de los sistemas de producción hidroeléctrica ante el cambio climático para los países de América Central; y se encuentra desarrollando un estudio similar para los países del Área Andina. Del estudio de América Central se obtuvieron resultados preocupantes respecto a los niveles de reducción que, al mediano y largo plazo, podría sufrir la producción de hidroelectricidad, debido al incremento de la temperatura ambiental, por lo que, en dicho estudio, se propusieron posibles medidas de adaptación. Sin embargo, algunos expertos advierten que no solamente las centrales hidroeléctricas pueden verse afectadas por el incremento de la temperatura ambiental, debido al cambio climático, sino también las centrales termoeléctricas de las cuales, la región de ALC depende en más del 50%.

Grandes países de la región como México y Argentina, sustentan su producción de electricidad principalmente en termoeléctricas convencionales, donde la participación de este tipo de tecnología se aproxima al 90% y 70% respectivamente. Para países de la subregión de El Caribe como Barbados, Grenada, Guyana y Trinidad y Tobago, las termoeléctricas representan prácticamente el 100% de su parque generador (OLADE, 2017).

En el presente artículo se pretende realizar un llamado de atención sobre los efectos que la variación de temperatura ambiental, así como una eventual disminución en la disponibilidad del recurso hídrico en los ríos, pueden tener sobre la eficiencia de las centrales termoeléctricas. Se

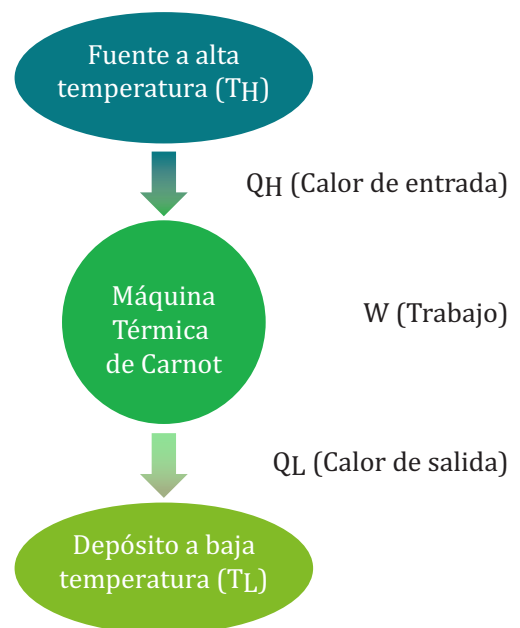
ha tomado como ejemplo, y para efecto del análisis teórico, las centrales turbo vapor, ciclo Rankine las cuales tienen una participación importante en los parques generadores nacionales de un gran número de países de la región. Esta tecnología, con un total de 62.000 MW instalados, representa el 18% del total de la capacidad instalada total de ALC. Esto, sin tomar en cuenta que este ciclo térmico forma parte también de las centrales turbo gas de ciclo combinado, de las centrales termonucleares y de las centrales geotérmicas.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El Ciclo de Carnot

Toda máquina térmica, funciona bajo el principio de la máquina ideal de Carnot, donde un fluido de trabajo circula en un ciclo reversible cerrado, absorbiendo calor de una fuente a alta temperatura (T_H), cediendo calor a un sumidero o depósito a baja temperatura (T_L) y generando una cantidad de trabajo en el proceso.

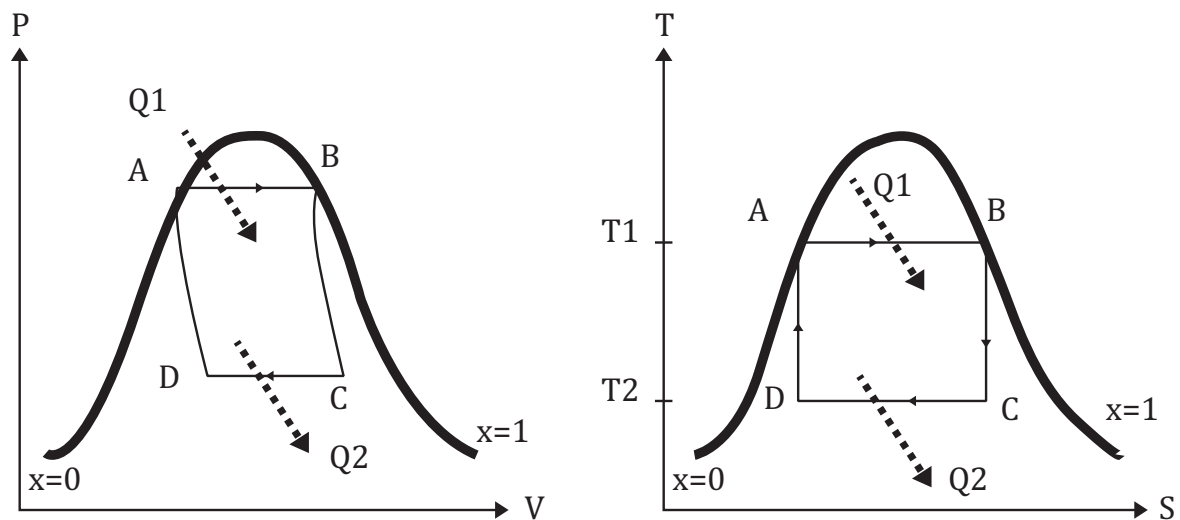
Figura 1. Esquema de la máquina térmica de Carnot.



Fuente: Elaboración del autor.

Un ciclo de Carnot dentro de la curva de saturación del fluido de trabajo, puede representarse en diagramas termodinámicos Presión – Volumen (P-V) y Temperatura – Entropía (T-S), como se muestra en la Figura 2 (Fernández, 2017).

Figura 2. Diagramas termodinámicos de un ciclo de Carnot.



Fuente: www.textoscientificos.com/fisica/termodinamica/maquinas-vapor

En el ciclo de Carnot, se pueden distinguir claramente 4 procesos termodinámicos:

a. Expansión isotérmica (proceso A-B).

Corresponde a la transferencia de calor (Q_1) desde una fuente externa al fluido a temperatura constante, incrementando su volumen específico y su entropía.

b. Expansión adiabática (proceso B-C).

Corresponde a una expansión sin transferencia de calor e isentrópica (entropía constante), donde el fluido pierde presión y temperatura.

c. Compresión isotérmica (proceso C-D).

el fluido se comprime a temperatura constante, cediendo calor (Q_2) a un sumidero térmico externo.

d. Compresión adiabática (proceso D-A).

El fluido se comprime isentrópicamente sin transferencia de calor, incrementándose su presión y temperatura.

Dado que el ciclo de Carnot es reversible, teóricamente la fuente caliente externa y el fluido en la expansión isotérmica (A-B), están a la misma temperatura T_1 , mientras que el sumidero térmico y el fluido en el proceso de compresión isotérmica (C-D) están a la misma temperatura T_2 .

La eficiencia del ciclo termodinámico de Carnot (η), estará dado por la relación entre el trabajo realizado por la máquina (W) y el calor absorbido de la fuente caliente (Q_1).

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \quad (1)$$

Del balance de energía, en un proceso reversible, se obtiene que el calor absorbido por la máquina (Q_1) deberá ser igual al trabajo realizado por la misma (W), más el calor cedido al sumidero térmico (Q_2). Por lo tanto, al despejar la variable trabajo, se obtendrá la expresión indicada en la ecuación 2.

$$W = Q_1 - Q_2 \quad (2)$$

De acuerdo a las leyes de los gases ideales en los procesos isotérmicos (A-B) y (C-D), el calor absorbido y cedido respectivamente, se calculan en función de las temperaturas y los volúmenes tal como se muestra en las ecuaciones (3) y (4).

$$Q_1 = n \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln (V_B / V_A) \quad (3)$$

$$Q_2 = n \cdot R \cdot T_2 \cdot \ln (V_C / V_D) \quad (4)$$

Donde:

Q_1 = calor absorbido por la máquina del foco caliente

Q_2 = calor cedido por la máquina al foco frío

n = número de moles del fluido de trabajo (gas ideal)

R = constante universal de los gases ideales

T_1 = Temperatura del foco caliente y del gas en el proceso (A-B)

T_2 = Temperatura del sumidero térmico y del gas en el proceso (B-C)

V_A = Volumen del gas en el estado A

V_B = Volumen del gas en el estado B

V_C = Volumen del gas en el estado C

V_D = Volumen del gas en el estado D

En los procesos adiabáticos B-C y D-A, se cumple la siguiente relación entre las temperaturas y los volúmenes de los estados inicial y final de cada proceso:

$$\text{Proceso B-C} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_C}{V_B} \right)^{\gamma-1} \quad (5)$$

$$\text{Proceso D-A} \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_D}{V_A} \right)^{\gamma-1} \quad (6)$$

Donde γ = constante adiabática del gas ideal. De las ecuaciones (5) y (6) se concluye que:

$$\frac{V_C}{V_B} = \frac{V_D}{V_A} \quad (7)$$

$$\frac{V_C}{V_D} = \frac{V_B}{V_A} \quad (8)$$

Por lo tanto al ser la relación entre los volúmenes constante, al igual que los parámetros n y R , la expresión matemática del trabajo queda como se indica en la ecuación (9).

$$W = n \cdot R \cdot \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) \cdot (T_1 - T_2) \quad (9)$$

Combinando las ecuaciones (9) y (3), la eficiencia de una máquina térmica ideal de Carnot se puede expresar como se observa en la ecuación (10):

$$\eta = \frac{n \cdot R \cdot \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) \cdot (T_1 - T_2)}{n \cdot R \cdot \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) \cdot T_1} \quad (10)$$

Finalmente simplificando los factores comunes del numerador y el denominador la eficiencia termodinámica de la máquina de Carnot, queda como una función de las temperaturas de los procesos isotérmicos como se observa en la ecuación (11).

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (11)$$

Cabe resaltar que en una máquina térmica real, para que pueda existir transferencia de calor en la expansión isotérmica A-B, la temperatura T_1 deberá ser necesariamente menor que la temperatura del foco caliente y de igual manera la temperatura de la compresión isotérmica C-D, T_2 , deberá ser mayor que la del sumidero térmico, por lo que se concluye que no puede existir una máquina térmica real que supere en eficiencia a la máquina ideal de Carnot.

Por otra parte, en una máquina térmica real, la temperatura del foco caliente (T_1) dependerá del calor que genere la combustión o la fuente térmica, del cual una parte será transferida al fluido de trabajo, mientras que la temperatura T_2 podrá ser tan baja como lo permita el sumidero térmico o depósito frío. Por lo tanto, entre menor sea la temperatura T_2 y mayor sea la temperatura T_1 , la eficiencia térmica de la máquina se incrementará y podrá producir mayor cantidad de trabajo mecánico y de energía eléctrica si se trata de un generador termoeléctrico.

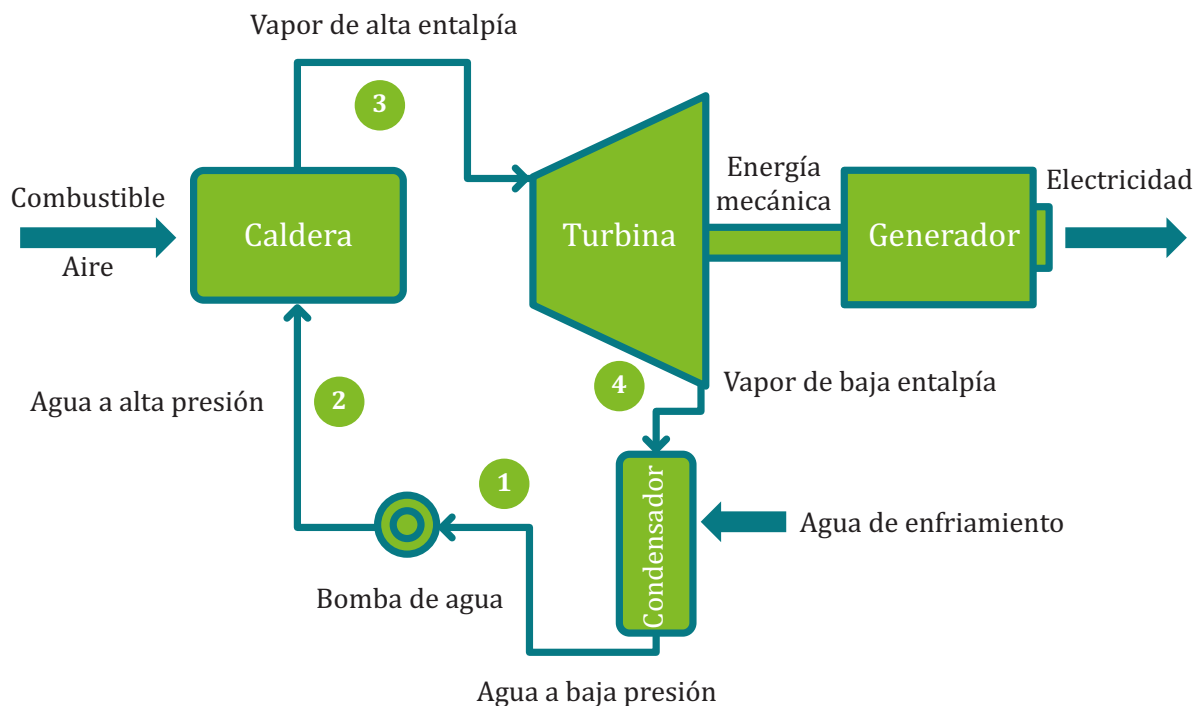
También es necesario observar que, al haber una transferencia de calor desde el proceso de

compresión isotérmica hacia el sumidero térmico, este tenderá a subir su temperatura reduciendo la eficiencia de la máquina, por lo que es necesario la intervención de un medio de refrigeración externo para mantener su temperatura baja, haciéndose importante también, la cantidad disponible de este medio refrigerante y su temperatura en condiciones ambientales.

La máquina térmica ciclo Rankine

La máquina térmica ciclo Rankine, constituye el modelo ideal para los sistemas de potencia turbo vapor.

Figura 3. Esquema de una central eléctrica ciclo Rankine.



Fuente: OLADE (2017), Manual de Estadísticas Energéticas.

Como se observa en la figura 3, una central termoeléctrica turbo vapor con ciclo Rankine, incluye en su configuración básica 5 elementos o dispositivos principales:

a. La Caldera.- donde se transfiere el calor de la combustión al fluido de trabajo, que en este caso es agua. Mediante esta transferencia de calor, el agua, que originalmente se encuentra en estado

líquido, se convertirse en vapor sobrecalentado¹.

b. La Turbina.- dispositivo que convierte parte de la energía térmica del fluido de trabajo en energía mecánica, en forma de movimiento rotatorio.

c. El Generador.- gracias a su acoplamiento a la turbina, convierte el trabajo mecánico en energía eléctrica.

d. El Condensador.- es un intercambiador de calor que se encarga de mantener la presión y temperatura del fluido de trabajo en valores bajos, extrayéndole energía hasta convertirlo completamente a fase líquida. Para cumplir su función, el condensador requiere de la intervención de un fluido refrigerante, que generalmente es agua tomada de un río o vertiente natural cercana a la central.

e. La bomba de agua.- eleva la presión del fluido de trabajo que sale del condensador en estado líquido, para reinjectarlo a la caldera y cerrar de esta forma el ciclo termodinámico.

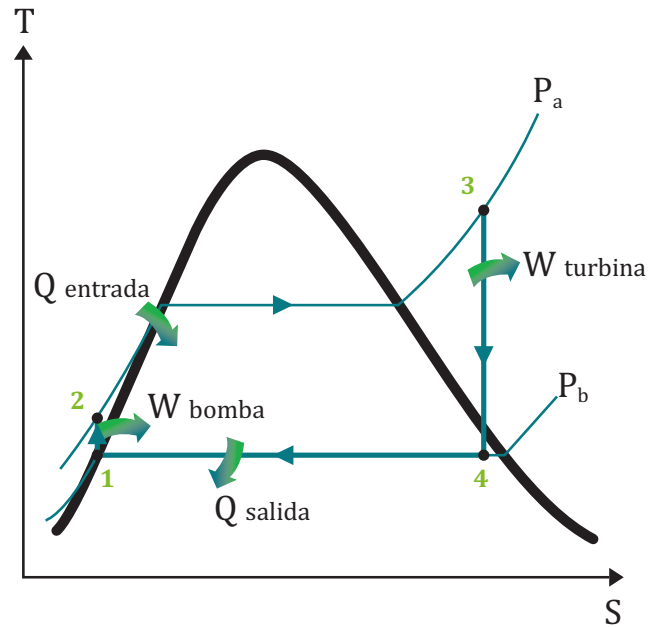
Cabe resaltar que las centrales eléctricas turbo vapor en su configuración real, suelen incluir otros dispositivos con el fin de incrementar su eficiencia, como regeneradores de calor, turbinas de baja presión, bombas de agua multietapa, etc.

Las centrales termoeléctricas se ven afectadas en su eficiencia, al incrementarse la temperatura ambiental.

¹ Vapor sobrecalentado, es vapor seco (calidad 100%), que ha incrementado su temperatura a presión constante más allá de su punto de saturación.

El ciclo Rankine ideal de una máquina turbo vapor, observado en un diagrama termodinámico Temperatura- Entropía (T-S), se muestra en la figura 4 (Cengel/Boles, 2012).

Figura 4. Diagrama termodinámico T-S ciclo Rankine.



Fuente: Yunes Cengel, Michael Boles, Termodinámica, séptima edición.

El diagrama termodinámico de la Figura 4, corresponde a una máquina turbo vapor ideal, es decir que no se consideran irreversibilidades ni en el proceso de compresión en la bomba de agua ni en el de expansión del vapor en la turbina. Al igual que en el ciclo de Carnot, el trabajo está representado por el área encerrada entre las curvas de los 4 procesos termodinámicos, que se identifican a continuación:

- a. Compresión isentrópica del agua en estado líquido en la bomba (1-2)
- b. Calentamiento isobárico (presión constante) del agua en la caldera hasta convertirla en vapor sobrecalentado (2-3)

c. Expansión isentrópica en la turbina generando trabajo mecánico y bajando la presión y temperatura del vapor de agua (3-4)

d. Condensación a presión constante (isobárica) en el condensador hasta convertir el agua en líquido saturado (4-1)

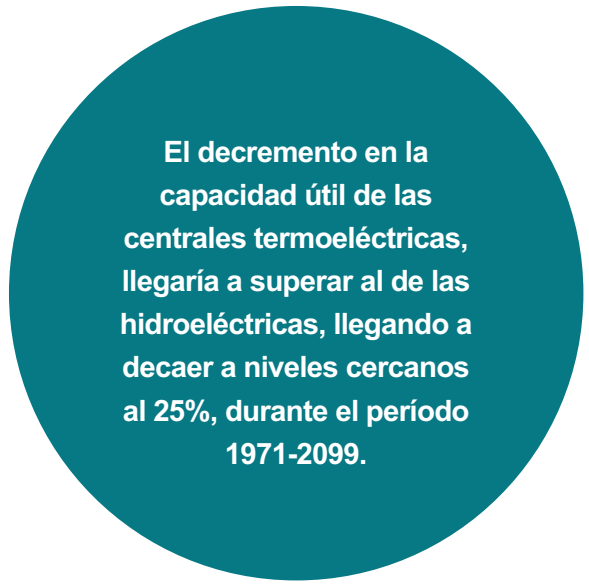
Como se puede observar en la figura 4, entre mayor sea el gradiente de temperatura en el proceso de expansión isentrópica (3-4), mayor será la cantidad de trabajo entregado por la máquina y por lo tanto para una determinada cantidad de calor suministrado ($Q_{entrada}$), la eficiencia térmica también será mayor. Por lo tanto, se concluye, que al igual que en la máquina ideal de Carnot, en cuanto menor sea la temperatura de la condensación isobárica (4-1), en la máquina Rankine, mayor será su eficiencia.

Luego del proceso de condensación en la máquina Rankine, es necesario disipar calor del fluido refrigerante, para regresarlo a su temperatura natural, lo cual se suele hacer mediante el uso de torres de enfriamiento, donde el refrigerante cede calor al aire. Un incremento en la temperatura del aire, alterará también los valores de humedad relativa del mismo y por lo tanto su capacidad para extraer calor del refrigerante, lo que significa que, si el refrigerante actúa en un ciclo cerrado, perderá también capacidad para mantener el condensador del sistema turbo vapor a baja temperatura y presión (Luis M. Romeo, 2017). Es obvio que un efecto de pérdida de capacidad de refrigeración se dará también, si disminuye el flujo másico del refrigerante en el sistema, debido a una menor disponibilidad de caudal en el río o afluente que suministra dicho fluido.

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede reiterar que un incremento en la temperatura ambiental debido al cambio climático, puede traer consecuencias negativas para la operación de las centrales termoeléctricas en general, y particularmente para los sistemas de potencia turbo vapor, afectando su eficiencia térmica.

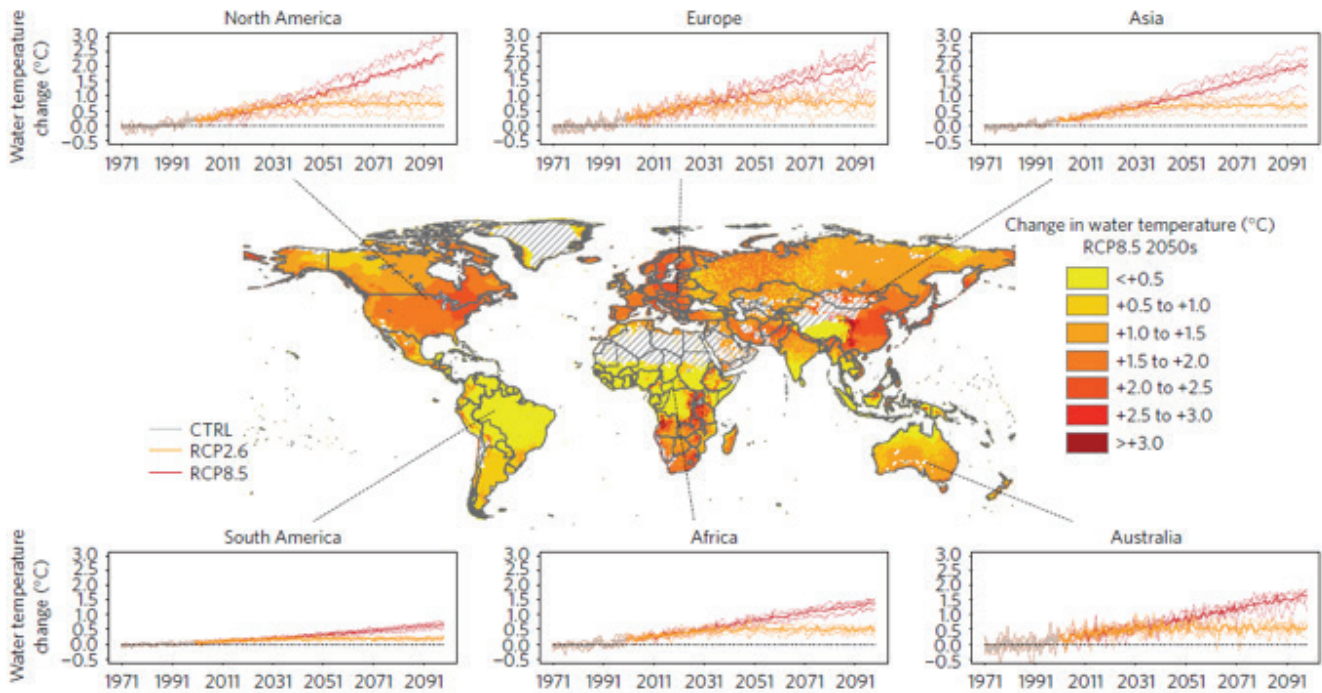
ESTUDIO SOBRE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GENERACIÓN TÉRMOELÉCTRICA

Algunos estudios, han estimado como el incremento de temperatura ambiental podría afectar la generación térmica, en las diferentes zonas geográficas del Planeta. Uno de estos estudios, cuyos resultados se publicaron en el artículo técnico *“Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources”* (Michelle T.H. Van Vliet, 2016), muestra para diferentes escenarios climáticos, formulados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), denominados *“Trayectorias de Concentración Representativas”* (RCPs por sus siglas en inglés), se estiman variaciones en la temperatura superficial del agua, para el período 1971-2099 que van desde los 0.6°C (escenario RCP 2.6) hasta cerca los 2.5°C (escenario RCP8.5), dependiendo de la zona geográfica, como se puede observar en la Figura 5. En esta figura se advierte de manera muy clara que la mayor variación se daría en regiones como Norteamérica y Europa, mientras que, para Suramérica el incremento de la temperatura del agua se mantendría por debajo de 1°C, incluso para el escenario climático más drástico como es el RCP8.5.



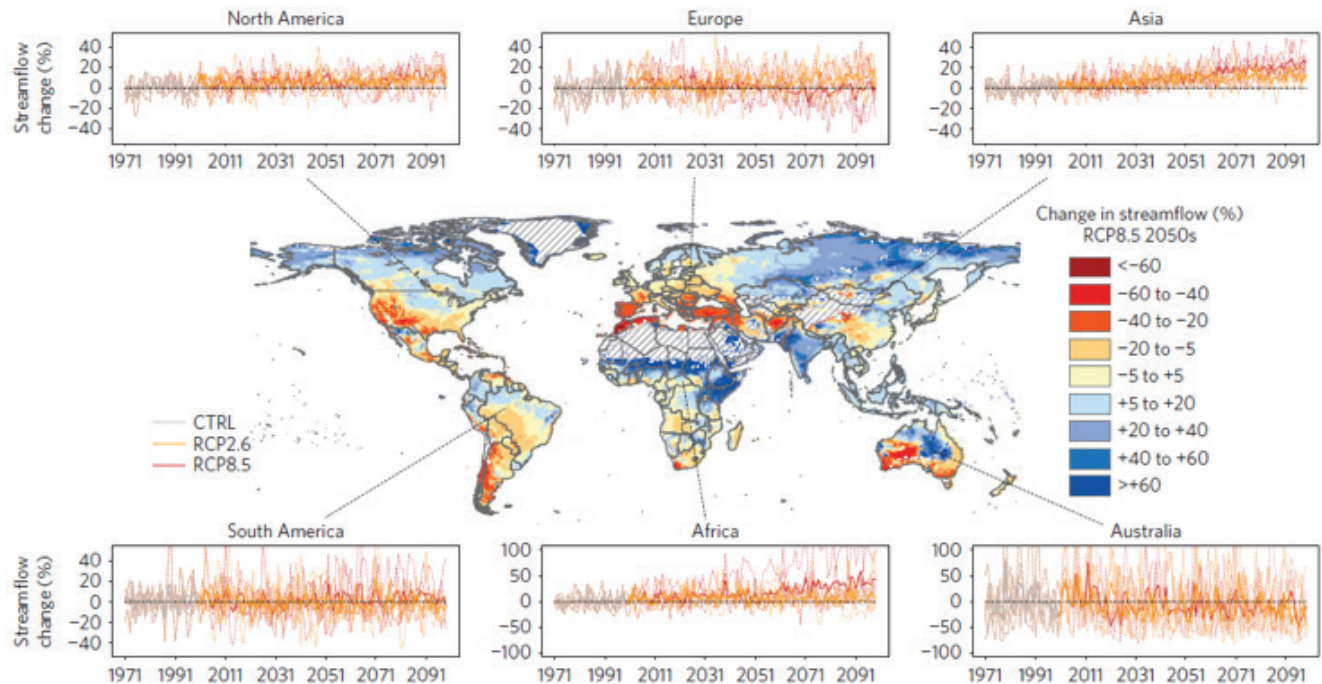
El decremento en la capacidad útil de las centrales termoeléctricas, llegaría a superar al de las hidroeléctricas, llegando a decaer a niveles cercanos al 25%, durante el período 1971-2099.

Figura 5. Variación de la temperatura del agua por efecto del cambio climático en el período 2071-2099.



Fuente: (Michelle T.H. Van Vliet, 2016)

Figura 6. Variación de las escorrentías por efecto del cambio climático en el período 2071-2099.

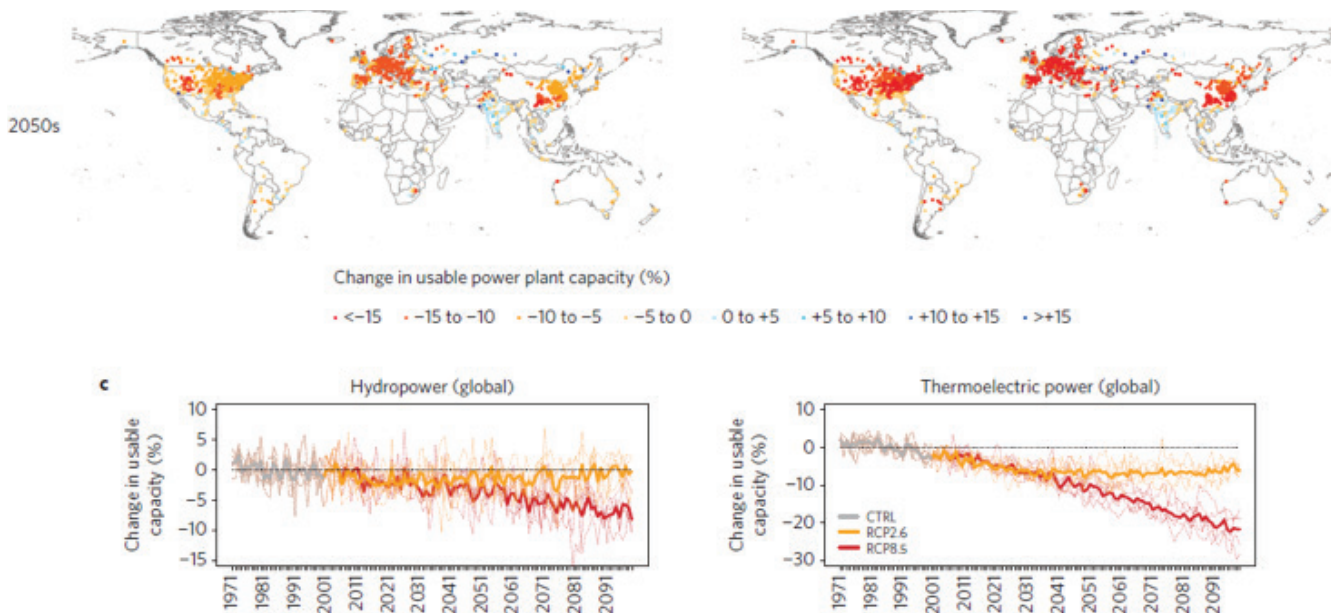


Fuente: (Michelle T.H. Van Vliet, 2016)

En cuanto a la variación en las escorrentías (flujos hidráulicos superficiales), las variaciones en el período de análisis (1971-2099), pueden ser positivas en algunas regiones geográficas y negativas en otras, como se puede observar en la Figura 6., las zonas con mayores variaciones negativas, para el año 2050 y el escenario RCP8.5 se localizan en el continente europeo, Norteamérica y el cono sur del continente americano, mientras que para zonas aledañas a la cuenca del Amazonas, las variaciones serían positivas con incrementos entre 5 y 20%.

Con la combinación de estos parámetros de influencia (temperatura del agua y escorrentías), la variación en la capacidad útil de generación hidroeléctrica y termoeléctrica se puede apreciar en la Figura 7. Como allí se observa, el decremento en la capacidad útil de las centrales termoeléctricas, llegaría a superar al de las hidroeléctricas, llegando a decaer a niveles cercanos al 25%, durante el período 1971-2099.

Figura 7. Variación de la capacidad útil hidroeléctrica y termoeléctrica por efecto del cambio climático en el período 2071-2099.



Fuente: (Michelle T.H. Van Vliet, 2016)

CONCLUSIONES

El fundamento teórico revisado, muestra que siendo el Ciclo de Carnot, el principio fundamental de operación de todas las máquinas térmicas y habiendo deducido, que su eficiencia depende de la temperatura del sumidero térmico, que de manera general lo constituye el ambiente, se puede concluir que la eficiencia de todos los tipos de centrales termoeléctricas, se verá

afectada por un incremento en la temperatura ambiental debido al calentamiento global.

Una disminución en la eficiencia de las centrales termoeléctricas, específicamente en aquellas que utilizan combustibles fósiles, repercutirá en el mayor gasto de combustible para producir la misma cantidad de energía eléctrica, lo que

a su vez incrementará la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, contribuyendo al cambio climático y constituyéndose de esa manera en un círculo vicioso.

Dado que a nivel mundial el carbón mineral es la segunda fuente en importancia en su uso, principalmente concentrado en la generación eléctrica, con tecnología turbo vapor, una pérdida de eficiencia en este tipo de centrales podría tener un efecto drástico en el incremento de emisión de dióxido de carbono a la atmosfera.

Es posible que, ante los resultados obtenidos de estudios de vulnerabilidad de la generación hidroeléctrica al cambio climático, se pueda pensar que un respaldo térmico convencional sea una buena alternativa de medida de adaptación para suplir una eventual disminución en el recurso hídrico, por lo que es muy importante tener conciencia que las centrales

termoeléctricas, también se verán afectadas por ese fenómeno.

De manera similar como se ha hecho para el caso de la generación hidroeléctrica, se debería emprender en estudios sobre los efectos del cambio climático en la generación térmica, analizando casos específicos, principalmente en aquellos países con alta dependencia de este tipo de generación y con mayor orientación a los que consumen carbón mineral y productos petrolíferos.

Si bien el mayor efecto de disminución de la capacidad útil de las centrales termoeléctricas debido al cambio climático, se presentaría en la zona norte del continente americano, según el artículo técnico consultado (Michelle T.H. Van Vliet, 2016), también en el extremo sur de este continente (Cono Sur), se muestran zonas sensibles a este fenómeno climático.

REFERENCIAS

Cengel/Boles. (2012). Termodinámica (7 ed., Vol. 1). México DF, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Recuperado el 2017

Fernández, T. M. (2017). Ciclo de Carnot. Artículo de internet, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Obtenido de <http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/termo2p/carnot.html>

Luis M. Romeo, R. G. (2017). El coste de las condiciones ambientales en los ciclos combinados. Zaragoza. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/267770344_El_coste_de_las_condiciones_ambientales_en_los_ciclos_combinados

Michelle T.H. Van Vliet, D. W. (2016). Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature climate change*, 375-380.

OLADE. (2017). SiseLAC. Quito. Obtenido de sier.olade.org