



III CONFERENCIA INTERNACIONAL DE DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE. CIDES 2023

Implicaciones estratégicas del cambio climático en la planeación energética para la operación del sistema eléctrico nacional

Strategic implications of climate change on the operation of the electric power system

Alfredo Roque Rodríguez¹, Miriam Lourdes Filgueiras Sainz de Rozas²

1- Alfredo Roque Rodríguez. Instituto de Meteorología, Cuba. E-mail:

alfredo.roque@insmet.cu

2- Miriam Lourdes Filgueiras Sainz de Rozas. Universidad Tecnológica de La Habana

“José A. Echeverría” CUJAE, Cuba. E-mail: miriaml@electronica.cujae.edu.cu

Resumen:

- **Problemática:** El cambio climático afecta a todos los sectores de la economía; sin embargo, resulta insuficiente el estudio de sus implicaciones en la operación del sistema eléctrico nacional.
- **Objetivo(s):** Explorar las implicaciones estratégicas en la planeación energética para la operación del sistema eléctrico nacional (SEN) del cambio climático
- **Metodología:** Investigación exploratoria cualitativa, a partir de un análisis histórico-lógico, desde un enfoque dialéctico para caracterizar el cambio climático en Cuba y su influencia sobre el sistema eléctrico
- **Resultados y discusión:** Caracterización del cambio climático en Cuba. Estudio del impacto del cambio climático en los sistemas eléctricos. Características en la evolución de la operación del sistema eléctrico nacional.
- **Conclusiones:** Del estudio se concluye que se necesita un cambio en la matriz energética para satisfacer de forma eficiente, sostenible y sustentable, el desarrollo del país, la necesidad de evaluar el diseño de las redes eléctricas, la gestión efectiva de la demanda y consumo de la energía eléctrica, lo cual conlleva un análisis exhaustivo en la planeación atendiendo a tecnologías a utilizar y cómo optimizar el



costo. Por lo que se estudian en el país diferentes softwares como LEAP, FlexTool, CubaLinda, para la planeación en la operación del SEN, pero aún se necesita profundizar en ello.

Abstract:

- **Problem:** *Climate change affects all sectors of the economy; however, the study of its implications on the operation of the national electricity system is insufficient*
- **Objective:** *to explore the strategic implications in energy planning for the operation of the national electricity system (SEN) of climate change.*
- **Methodology:** *a qualitative exploratory research, from an historical – logical approach to characterize climate change in Cuba and its influences electric power system.*
- **Results and discussions:** *Caracterización del cambio climático en Cuba. Estudio del impacto del cambio climático en los sistemas eléctricos. Características en la evolución de la operación del sistema eléctrico nacional.*
- **Conclusions:** *As a result of this study we conclude that a change into the energy matrix is needed to satisfy, in an efficient and sustainable way, the development of the country, it is needed to evaluate the design of electrical grids, the efficient management of the demand and consumption of electrical energy, this carry out an exhaustive analysis on planning; it is attempting to which technologies are better to use, and how could be optimized the cost. In consequence, at the country are studying different soft wares as LEAP, FlexTool, CubaLinda, to planning on the operation of electric power system, but it is needed to study in deep this matters.*

Palabras Clave: Planeación del suministro eléctrico; Sistema eléctrico de potencia; Situación del sector de la electricidad en Cuba

Keywords: *Electrical supply planning; Electrical power system; The electrical sector in Cuba.*

1. Introducción

Uno de los problemas más acuciantes en la actualidad es el cambio climático, ya que afecta a la mayoría de los sectores económicos, además del impacto ambiental negativo que provoca, como consecuencia de una inadecuada atención en nuestro desarrollo por todo lo que nos rodea. Las manifestaciones del cambio climático se observan,



fundamentalmente, en el aumento de la temperatura media mundial, la modificación en los patrones de precipitación, la reducción de la criósfera, el alza continua del nivel del mar, y la acentuación en la aparición de fenómenos climáticos extremos; proceso que, además de tener fuertes impactos sociales y económicos, puede desencadenar alteraciones irreversibles en los ecosistemas (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2021).

Las consecuencias del cambio climático se producen en todos los sectores y, por supuesto, también en los sistemas de energía. En las últimas dos décadas, el porcentaje de desastres naturales ha aumentado alrededor de 11 % en todo el mundo (WMO, 2021). Los efectos que se derivan del proceso de calentamiento global son, cada vez, más evidentes. En este sentido, recientemente la Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha señalado que el año 2017 ha sido uno de los tres años más calurosos — junto a 2016 y 2015 – desde que comenzaron los registros en 1880. Y según Berkeley Earth, los años más cálidos en la historia han sido 2016 y 2020 y este 2023 ya está en camino de ser el año más caluroso de la historia (Bloomberg Línea, 2023).

En el caso del sector energético, el cambio climático lo afecta desde el punto de vista global, y también a nivel regional y local, de manera directa e indirecta; ya que, conducirá directamente cambios en la demanda energética, modificaciones en la operación de las centrales de producción y en las líneas transmisión y distribución de electricidad.

En la transición energética hacia otros recursos para la generación de electricidad aparecen tres factores que influyen también en la operación de los sistemas eléctricos: la participación creciente de generación eléctrica con fuentes renovables de energía (FRE) de naturaleza intermitente, tales como la energía eólica y la solar fotovoltaica; el despliegue de la generación distribuida; y tercero, la difusión de la digitalización, que comprende todos los segmentos de la cadena de valor desde la generación hasta los clientes (Batalla, 2018).

“Estos cambios están impulsando un cambio estructural con especial incidencia en la planificación y en la operación y gestión del sistema eléctrico. Todo ello con implicaciones sistémicas a la hora de garantizar la seguridad de suministro, requiriendo de una respuesta coordinada y proactiva por parte de los responsables de la formulación de políticas y estrategias, así como las partes interesadas pertinentes en el sector energético” (Batalla, 2028; p.6).



Por otra parte, para adaptarse al cambio climático se deberán realizar esfuerzos para incrementar la capacidad en los sistemas de transmisión y distribución. Estos sistemas deberán ser renovados y ampliados para aumentar la confiabilidad, evitar la congestión y acceder a puntos de generación remotos comúnmente asociados a FRE; también, debido al incremento en la aparición de eventos climáticos extremos, lo cuales producen un fuerte impacto en las infraestructuras de transmisión, ya que si estas son insuficientes, existe una clara amenaza a la integridad del sistema.

De ahí, el objetivo de este trabajo: explorar las implicaciones estratégicas en la planeación energética para la operación del sistema eléctrico nacional (SEN) del cambio climático.

2. Metodología

Investigación exploratoria cualitativa, a partir de un análisis histórico-lógico, desde un enfoque dialéctico, lo que se trata es de caracterizar el cambio climático en Cuba y su influencia sobre el sistema eléctrico, a partir de la literatura existente y consulta a documentos de trabajo de la Unión Eléctrica (UNE) y el Instituto de Meteorología (ISMET).

3. Resultados y discusión

Características del cambio climático en Cuba

En el libro titulado Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba (Planos et al., 2013) se recogen la mayoría de las investigaciones que se han llevado en Cuba sobre el tema. En el libro se exponen de manera detallada los cambios que ya se han observado en el clima desde el siglo pasado.

En dichas investigaciones se consideró que el clima del futuro será más extremo; en el escenario más adverso, la temperatura media del aire puede aumentar en 4 °C; la precipitación anual disminuir en más del 20%, la evapotranspiración incrementarse considerablemente y los procesos de sequía y las precipitaciones extremas incrementar su frecuencia e intensidad. Los impactos de estas condiciones producirán transformaciones importantes en la distribución y dinámica de los procesos medioambientales, en los recursos hídricos, en la salud y en sectores económicos tales como la producción agropecuaria y el turismo.

Temperatura superficial del aire



En las investigaciones resumidas en el libro se concluye que desde mediados del siglo XX la temperatura superficial del aire en Cuba ha manifestado un incremento de 0,9 °C, con un importante punto de cambio a finales de los años 70. Para la estación de Casablanca, con registros disponibles desde la segunda década del presente siglo, el incremento es de 0,6 °C. Este incremento está, ante todo, condicionado por el ascenso de la temperatura mínima (1,9 °C).

Estudios recientes como son los reportes del Estado del Clima en Cuba 2021 y 2022 (Fonseca et al., 2022 y 2023), publicado por el Centro del Clima del Instituto de Meteorología refleja que tanto el 2021 como el 2022 fueron años sumamente calurosos. La temperatura media anual de Cuba durante el año 2022 fue la tercera más alta desde 1951, al alcanzar un valor que superó a la media histórica del período 1961-1990 (25.5°C) en 0.88°C. En la figura 1.

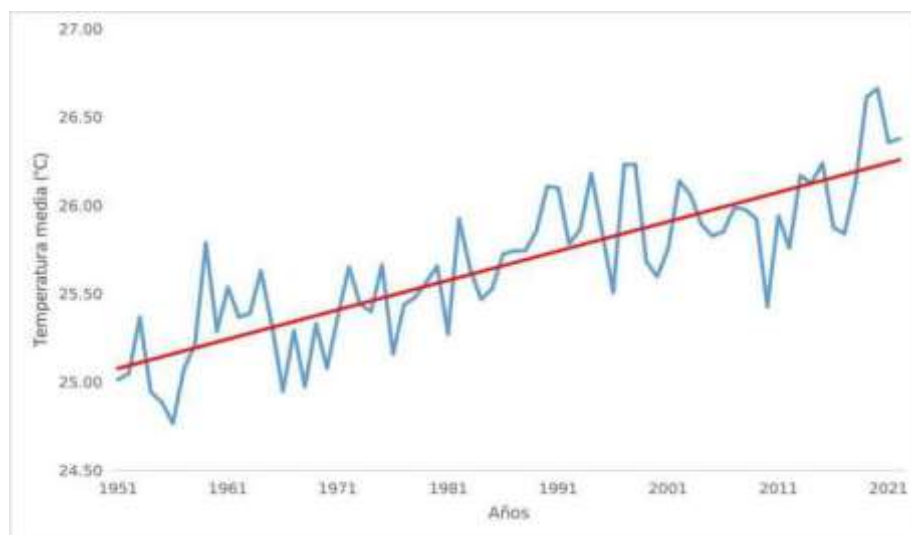


Figura 1. Temperatura media anual en Cuba durante el período 1951-2022. La línea roja representa la tendencia lineal. Fuente: Fonseca et al., 2022 y 2023

Encontrándose que la temperatura de cada uno de los últimos cuatro años fue al menos 0,8 °C superior a la media del período 1961-1990, de tal manera que los años 2019 – 2022, son los más cálidos desde 1951 hasta la actualidad. El 2022 contribuyó a acentuar la tendencia al incremento de la temperatura media en Cuba.

Precipitaciones

En el libro mencionado (Planos et al., 2013) el aspecto más importante de las precipitaciones en el período lluvioso (mayo – octubre) en Cuba, es el relacionado con la disminución en la región oriental, la que desde la década del 90 ha manifestado un



significativo déficit en los acumulados de precipitación. Esta variación es una de las más preocupantes variaciones observadas en el clima de Cuba en las últimas décadas. Por el contrario, se observó una tendencia al aumento de las anomalías positivas en las regiones occidental y central.

Fonseca et al., 2022, reportaron que los acumulados anuales de precipitación en Cuba en el 2021, estuvieron por debajo de la media histórica en casi todo el país. Concluyeron finalmente que el 2021 fue el más seco de los últimos 10 años y el tercero de los últimos 20. En las provincias de la región central fue el más seco de los últimos 10 años.

En el reporte del Estado del Clima 2022, en términos generales el año 2022 se caracterizó por una gran variabilidad en el comportamiento de la lluvia tanto espacial como temporal. En la segunda mitad del año, los acumulados de lluvia estuvieron por debajo de la norma aunque no de manera homogénea en el país. Ver figura 2.

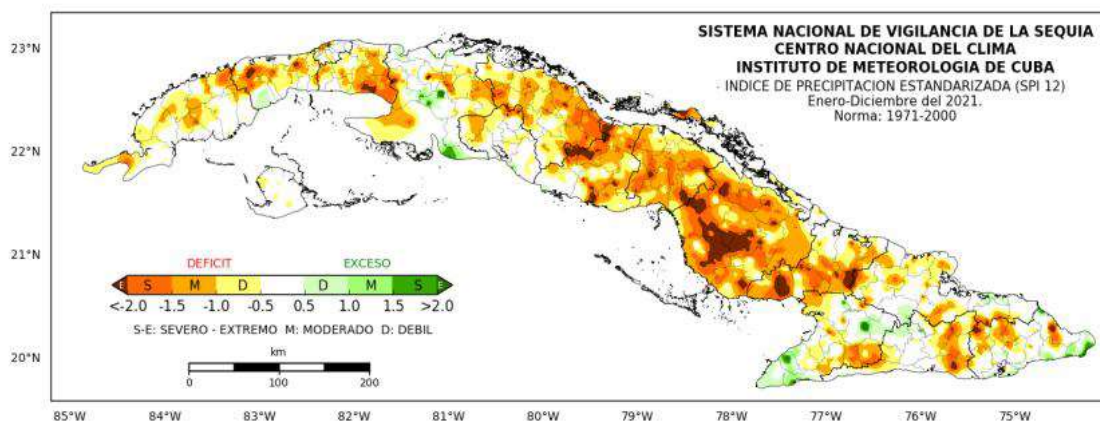


Figura 2. Índice de precipitaciones en Cuba de Enero a diciembre de 2021. Fuente: Fonseca et al., 2022 y 2023.

Como característica más relevante del año 2022 se destaca el comportamiento de los acumulados de lluvia durante el último trimestre del año. En octubre las lluvias reportadas estuvieron por debajo de su valor normal. Para Cuba, el acumulado promedio reportado en este mes fue de 78.7 mm, constituyendo el segundo menos lluvioso desde 1961 hasta la fecha.

Este comportamiento estuvo condicionado por los bajos acumulados reportados en las regiones occidental y central, los que clasificaron como el segundo y tercero menos lluvioso, respectivamente. En noviembre y diciembre igualmente las precipitaciones fueron deficitarias. En el primero la región menos favorecida fue la oriental, constituyendo el menos lluvioso para esta región desde 1961. Por su parte en diciembre



las regiones menos favorecidas fueron la región central y la oriental. Para esta última constituyó el tercer diciembre menos lluvioso de los registros. Este comportamiento en los últimos meses del año, fue el responsable del incremento progresivo de las áreas afectadas por sequía en el país.

Eventos climáticos extremos

Sequía

Entre los eventos climáticos extremos la sequía es uno de los eventos más nocivos que la humanidad ha enfrentado tradicionalmente. Retomando nuevamente el libro Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba, los estudios realizados sobre la sequía en Cuba por Lapinel et al., 1993, utilizando como referencia 30 estaciones pluviométricas de largos registros, el examen de las normales climatológicas reglamentarias de las lluvias (1931-1960 y 1961-1990) mostró que la frecuencia de años con sequías moderadas y severas se duplicó en el segundo treinteno en relación con el primero. Así mismo, se pudo apreciar una disminución de los acumulados anuales del primer al segundo período en un orden del 10%, concentrándose básicamente, en los meses del período lluvioso.

Tal incremento ha mantenido su continuidad en los persistentes eventos de sequía que afectaron la mitad oriental del país desde principios de los años 90 y hasta el presente, incluyendo el gravísimo evento acaecido desde mayo del 2003 a mayo del 2005. Las sequías también registraron un aumento considerable en el número de casos extremos, incluyendo el extraordinario evento 2003-2005. El 2021 fue el más seco de los últimos 10 años y el tercero de los últimos 20. En las provincias de la región central fue el más seco de los últimos 10 años (Fonseca et al., 2022).

Huracanes

La forma más dramática en la que las variaciones climáticas afectan a la sociedad es a través de los eventos extremos. Los recientes y notables impactos de los ciclones tropicales alrededor de todo el mundo, entre los que se incluyen las temporadas ciclónicas del Océano Atlántico en los años 2004 y 2005, conmovieron a la opinión pública mundial y a la comunidad científica dedicada al estudio de dichas tormentas. Las recientes décadas han sido testigos del incremento de los daños económicos y de las pérdidas de vida debido al golpe de los ciclones tropicales. En parte, esta triste realidad es consecuencia del



aumento de la vulnerabilidad y del incremento de la población, principalmente en zonas costeras.

Entre las principales conclusiones a que arribaron las investigaciones realizadas hasta ese entonces se encontró que se había observado un incremento en la formación de los huracanes en el Océano Atlántico, principalmente desde mediados de la última década del siglo pasado. Sin embargo, si se considera que las series cronológicas están sujetas a errores o a incertidumbres, debido a los cambios en los sistemas observacionales, tales resultados deben tomarse con gran precaución. También se ha encontrado una tendencia similar en el número de los huracanes intensos. Los trabajos realizados hasta entonces indicaban que tanto el número como la intensidad de los huracanes originados en el Caribe, y que alcanzaron esa categoría en dicha área, continuaron incrementándose.

Desde 1996 se inició un nuevo período de gran actividad ciclónica sobre Cuba. Dicho período ha coincidido con un abrupto calentamiento de las aguas del Atlántico y del Mar Caribe, este último fundamentalmente desde 1998, y responde al incremento observado en el número de huracanes originados en el Mar Caribe y en la cantidad que penetran en esta región con origen en el Atlántico tropical. Entre el 2001 y el 2008, el país ha sido afectado por nueve huracanes. No se ha detectado la existencia de una tendencia creciente a largo plazo, estadísticamente significativa, en la actividad de huracanes sobre Cuba, teniendo en cuenta una serie muy larga y confiable comprendida entre 1791 y 2008.

Una de las más peligrosas variaciones observadas en el clima de Cuba en los años recientes ha sido la ocurrencia de siete huracanes intensos desde el 2001, cifra que no se había registrado en década alguna desde 1791 hasta el presente. Tal récord se asocia al incremento observado en toda la cuenca del Océano Atlántico, incluyendo el Mar Caribe y puede estar condicionado, ante todo, a los muy altos valores de la temperatura del mar en el Caribe registrados desde 1998.

La temporada ciclónica del año 2021 (Fonseca et al., 2022) tuvo un comportamiento muy activo en cuanto al número de ciclones tropicales formados en la cuenca atlántica, la tercera más activa. Se originaron 20 organismos ciclónicos tropicales y una tormenta subtropical. Se formaron siete huracanes de los cuales cuatro llegaron a ser de gran intensidad (Grace, Ida, Larry y Sam). Cuba tuvo la afectación directa de tres organismos ciclónicos tropicales: el huracán Ida y las tormentas tropicales Fred y Elsa.



Este comportamiento activo de la actividad ciclónica se mantuvo en el año 2022, donde se originaron 14 organismos ciclónicos tropicales en la porción norte de la cuenca atlántica. Lo más significativo para Cuba estuvo relacionado con el desplazamiento del intenso huracán Ian sobre la región occidental del país a finales del mes de septiembre.

El incremento de la frecuencia anual de la actividad de huracanes sobre Cuba ha sido una característica de las épocas más activas, que se ha manifestado por primera vez con huracanes intensos. Los resultados de los últimos años indican que es indispensable prepararse para enfrentar el peligro y atenuar los embates de los huracanes. Los cuales han causado tantas pérdidas de vidas humanas y daños materiales y ambientales, a lo largo de una etapa de gran actividad ciclónica en que se encuentra la cuenca atlántica en general y el Caribe en particular, la que podrá resultar más o menos larga.

Efectos del cambio climático en la demanda y producción de energía eléctrica

La variación temporal de la demanda de energía eléctrica para los diferentes sectores de consumo: transporte, industrial, residencial y servicios depende del uso que se le da a la energía por cada tipo de sector.

Las costumbres de los consumidores de la energía eléctrica en el sector residencial y de servicios resultan muy similares entre sí durante el año, siendo en mayor medida sus usos en iluminación, cocción, refrigeración, climatización del ambiente, así como para dispositivos electrónicos empleados en trabajo o el ocio. De todos los usos mencionados la climatización es el que más variación presenta, debido a la oscilación de la temperatura durante el año y el día siendo las temporadas de invierno y verano donde más se ve reflejado este comportamiento.

Por ende, los equipos de climatización generan una gran variación de la demanda eléctrica horaria durante los días de temperaturas altas en estos países. Esta perturbación dificulta la gestión de la oferta energética, de manera general, con mayor intensidad aún ante un escenario de calentamiento global por el incremento en su utilización, sobre todo en las horas de máxima demanda.

Efectos del cambio climático en la generación y transmisión de la energía eléctrica

En la generación, se requiere de un cambio en la matriz energética global, con una mayor penetración de las FRE, las más económicas resultan el agua, el sol y el viento, las dos últimas permiten la generación de electricidad de forma intermitente y no están presentes todo el tiempo, ni en todas las regiones.



En las líneas, el efecto de aumento de temperaturas en las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, debido al efecto Joule, causado por el flujo de corriente, que produce una disipación de potencia de IR^2 , generará un aumento en las pérdidas de energía (García-Berg, 2011).

En los transformadores, provoca un incremento en la temperatura de trabajo lo que condicionará un mayor nivel de averías, sobre todo en el verano. Debido a que, un aumento de la temperatura promedio, especialmente en la temperatura de la noche, reducirá el ciclo de enfriamiento de transformadores y otros equipos, esto significará una disminución en el tiempo de vida media de los equipos, mayor mantenimiento y reemplazo temprano de los equipos por equipos de mayor capacidad.

Los eventos extremos son capaces de afectar a los usuarios de los servicios de infraestructura (suministro de energía y de agua, telecomunicaciones, transporte, etc.) por medio de impactos directos e indirectos –los últimos asociados a las interdependencias de los sistemas–. Aunque se tomen en cuenta solamente los efectos directos, las consecuencias de los desastres sobre la infraestructura pueden alcanzar cifras considerables. De ahí que los eventos climáticos extremos requerirán del diseño e implementación de sistemas más robustos y mejorados con nuevas estrategias de operación en desastre y recuperación, ya que sus impactos tienen influencias directas e indirectas en la operación de los sistemas eléctricos.

Características del SEN en Cuba

En Cuba, subsisten estos problemas, con una tasa de electrificación muy alta y muy bajo consumo de energía en los sectores industriales y de comercio, siendo alto en el sector residencial. Una dependencia alta de la energía fósil con combustibles importados, un bajo nivel de desarrollo en el uso de las FRE a nivel nacional. Los datos se tomaron hasta 2019, ya que 2020, 2021 y 2022, no son representativos, por la influencia de la pandemia donde el país se paralizó, prácticamente. En las figuras 3, 4 y 5, se muestra el consumo de electricidad por sectores y su intensidad energética, así como la producción e importaciones de petróleo en Cuba, respectivamente, desde 1971 hasta 2018.

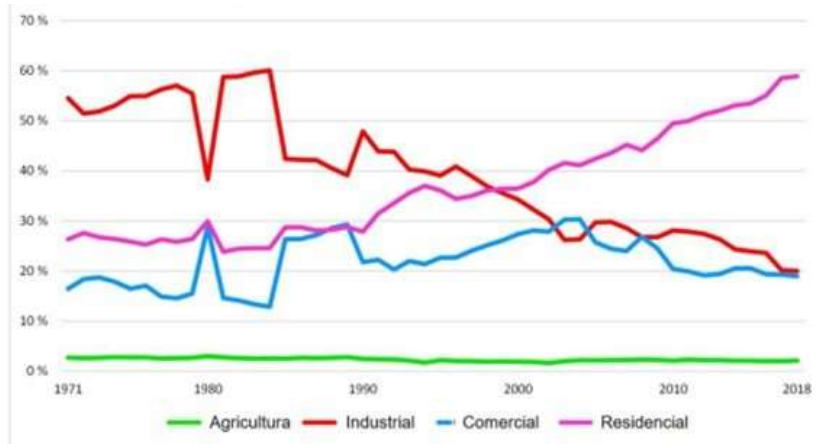


Figura 3. Consumo de electricidad en diferentes sectores de la Economía cubana. Fuente de datos: IEA Statistics (2019).

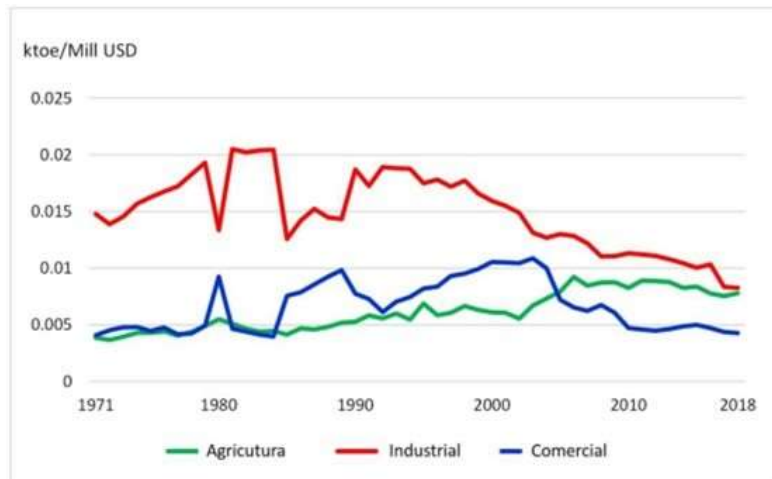


Figura 4. Intensidad eléctrica en diferentes sectores económicos en Cuba, medida como uso de energía (ktoe) por valor agregado (Mill USD). Fuentes de datos: IEA Statistics (2019); UNStats (2021)

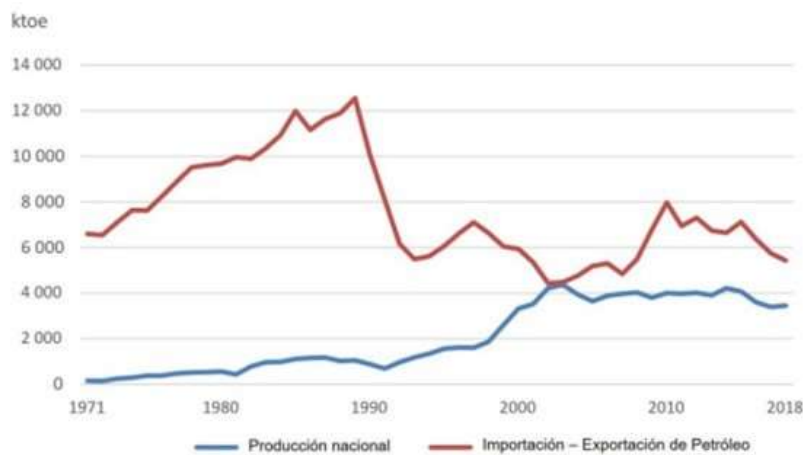


Figura 5. Producción de petróleo en Cuba e importaciones de petróleo menos exportaciones. Fuente de datos: IEA Statistics (2019)



En estos últimos años, alrededor del 40,6% de la generación se produce en centrales termoeléctricas, el 21,7% con motores de fuel oil y el 21,9% con diésel; estos últimos en la generación distribuida, instalados en todo el país. Alrededor del 8% de la electricidad se produce con el gas agrio de la producción de petróleo, y solo el 5% proviene de FRE, un 3% restante se produce en unidades flotantes (patanas) ubicadas en el Mariel, la bahía de La Habana y la bahía de Santiago de Cuba, utilizando gas licuado (Luukkanen, J.; Filgueiras Sainz de Rozas, M.L.; Saunders Vázquez, A.; Martínez Hernández, A., 2022). En febrero de 2021, sobre la base de nuevos análisis y estudios de especialistas de la UNE y diferentes universidades, se decidió por el Estado Cubano modificar la meta propuesta en la política diseñada, en 2014, para el uso de las FRE. Como resultado, el objetivo de alcanzar el 24% de generación eléctrica con FRE para el 2030 se modificó por la meta del 37%. Según los expertos, esa meta se podría alcanzar aumentando la participación de la energía solar fotovoltaica hasta 2000 MW y aumentando la participación de la bioenergía, con el aprovechamiento no solo de la biomasa cañera sino también de la forestal, con la siembra de bosques y cultivos energéticos (Extremera San Martín, 2019). En octubre del propio 2021, el presidente cubano consideró que lograr el 100% de la generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía, es la solución estratégica con la que se compromete el país para lograr su soberanía en un aspecto que es transversal a todos los ámbitos, en el marco del Consejo Nacional de Innovación. (Tamayo, 2021). Como se prevé una mayor contribución de la energía solar se han establecido requisitos mínimos para su interconexión al sistema, para lograr mejor estabilidad, confiabilidad y rendimiento. Estos requisitos van desde la distancia mínima de parques, los requisitos para decidir el lugar de conexión de los parques según su potencia de generación. Que el inversor del parque sea capaz que regular frecuencia y tensión. El requisito de cumplir el Código de Red de la UNE para la su interconexión y operación. Además, no se aceptarán proyectos con parques mayores a 20 MW, si no contemplan la acumulación en baterías. Con relación a la energía eólica se cuenta con un mapa eólico de Cuba, en el que se pone de manifiesto una zona con mejores perspectivas, con relación a la altura y fuerza del viento, que corresponde con la zona norte oriental del país. En el caso de la biomasa, se ha investigado mucho, con relación a los residuales agrícolas, de hecho se ha dado un gran impulso a este programa; pero cómo abordar la necesidad de cultivar bosques energéticos para la construcción de bioeléctricas, que constituyeron una



parte importante en la proyección de la nueva matriz energética para 2030, con una aportación del 14% de la matriz de generación total del país, constituye una asignatura pendiente.

En medio de todas las situaciones económicas severas, también se necesitan inversiones para el mantenimiento de plantas de energía, y combustible, que tienen un impacto significativo en la economía. De los escasos recursos disponibles, hay que destinar dinero a la generación eléctrica (Alonso Falcón et al., 2021)

Debido a todo lo anterior, resulta de vital importancia estudiar el SEN y evaluar las condiciones para lograr la mayor penetración y diversificación posible con FRE, con el menor costo y la mejor variante desde el punto de vista técnico. Como estrategia de enfrentamiento al cambio climático. Con implicaciones de nuevas estrategias para la adaptación en la operación del SEN al cambio climático y consecuentemente en la planeación para el desarrollo energético. Además de proyectar un SEN más flexible y confiable. Se han realizado estudios preliminares y puntuales con diferentes softwares como LEAP, FlexTool, CubaLinda, pero se requiere de mayor amplitud y profundidad en ello.

4. Conclusiones

Se exploraron las principales implicaciones del cambio climático en la operación del sistema eléctrico nacional, encontrándose que conllevan la necesidad de un cambio en la matriz energética, para satisfacer de forma eficiente, sostenible y sustentable, el desarrollo del país; la necesidad de evaluar el diseño de las redes eléctricas; lograr una gestión efectiva de la demanda y consumo de la energía eléctrica, que presenta un incremento notable en el sector residencial. Todo lo cual conlleva un análisis exhaustivo en la planeación atendiendo a tecnologías a utilizar y cómo optimizar el costo.

Esto hace que se requiera de herramientas que permitan hacer una adecuada planificación de los recursos energéticos que satisfagan la demanda pronosticada, optimizando los costos de inversión, operación y mantenimiento de las plantas de generación, así como de toda la infraestructura de transportación de la electricidad. Por lo cual se estudian en el país diferentes softwares como LEAP, FlexTool, CubaLinda, pero aún se necesita profundizar en ello.

5. Referencias bibliográficas



Alonso Falcón, R., Figueredo Reinaldo, O., and Sifonte Díaz, Y. (2021). Unión Eléctrica ejecuta ambicioso proceso inversionista y apuesta por las fuentes renovables de energía. CUBADEBATE. Recuperado de: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2021/03/16/union-electrica-ejecuta-ambicioso-proceso-inversionista-y-apuesta-por-las-fuentes-renovables-de-energia-video/>

Batalla, J. (2018) Retos en la operación del sistema eléctrico en un contexto de transformación del sector energético. Informe Estratégico. Septiembre de 2018. FUNSEAM - Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental. Recuperado en: <https://funseam.com>.

2023 ya está en camino a ser el año más caluroso de la historia. (17 de julio de 2023) BloombergLinea. Recuperado de: <https://www.bloomberglinea.com/2023/07/17/2023-ya-esta-en-camino-a-ser-el-año-mas-caluroso-de-la-historia/>

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2021) El camino hacia una infraestructura energética resiliente en Centroamérica. Caso de estudio Honduras. Diciembre 2021. Recuperado de: <https://www.sica.int/>

Extremera San Martín, D. (2019). Cuba: Entran en vigor nuevas normas jurídicas para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía. CUBADEBATE. Recuperado de: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2019/11/28/cuba-entran-en-vigor-nuevas-normas-juridicas-para-el-desarrollo-de-las-fuentes-renovables-y-el-uso-eficiente-de-la-energia-pdf/>

Fonseca Rivera C., Hernández González D., Gil Reyes L., González García I. T., Cutié Cancino V., Martínez Álvarez M., Barcia Sardiñas S., Pérez Suárez R., Valderá Figueredo N., Vázquez Montenegro R., Hernández González M., Velázquez Zaldívar B., Cruz Estopiñan E., & González E. (2021). Estado del Clima en Cuba 2021. Resumen ampliado. Revista Cubana De Meteorología, 28(1). Recuperado de: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/603>

Fonseca Rivera C., Martínez Álvarez M., Hernández González M., Pérez Suárez R., Velázquez Saldívar B., Valderá Figueredo N., González García I., Cutié Cancino V., Vázquez Montenegro R., Cruz Estopiñan E. B., Mitrani Arenal I., Hidalgo Mayo A., Cabrales Infante J., & Lapinel Pedroso B. (2023). Estado del Clima en Cuba 2022. Resumen ampliado. Revista Cubana de Meteorología, 29(1). Recuperado de: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/703>



García-Berg, LE, (2018) Análisis Técnico sobre los Efectos del Cambio Climático en el Sistema Interconectado Central (tesis de pregrado). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104351>

Girardi, G., Romero, JC, Linares, P, (2020). La adaptación del sector energético al cambio climático. *Ekonomiaz* (97), 1º semestre, 2020. Recuperado de: <http://www.dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7536539>

IEA Statistics. (2019). Energy Balances and Statistics. Paris: International Energy Agency. Recuperado de: <https://www.oecd.org/publications/world-energy-balances-25186442.htm>

Lapinel B., R.E. Rivero y V. Cutié (1993) La Sequía en Cuba: Análisis del período 1931-1990. Informe científico-técnico. Centro Meteorológico Territorial, Camagüey, 40 pp.

Luukkanen, J.; de Rozas, M.L.F.S.; Vázquez, A.S.; Hernández, A.M. (2022) Historical development of Cuban energy sector. En Luukkanen, J., Vázquez, A.S., Laitinen, J., Aufferman, B. (Ed). *Cuban Energy Futures: The Transition towards a Renewable Energy System—Political, Economic, Social and Environmental Factors* (pp. 34-58). Turku, Finland: Editorial: Finland Futures Research Centre, University of Turku.

Tamayo, R. (2021). Sesión del Consejo Nacional de Innovación: Vamos a trabajar con todas las energías. CUBADEBATE. Recuperado de: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2021/10/16/sesion-del-consejo-nacional-de-innovacion-vamos-a-trabajar-con-todas-las-energias/>

Planos, E.; R. Rivero, V. Guevara (2013): Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. La Habana: Editorial AMA.

U.S. Climate Change Science Program. (2008) Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States. Recuperado de: <http://www.sc.doe.gov/ober/sap4-5-final-all.pdf>.

UNStats. (2021). UN Stats. Recuperado de: <https://unstats.un.org/unsd/snaama/basic>

WMO (2020) State of climate services. Recuperado de: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21609#.XgWKsUf0mub.