

Comportamiento del CO₂ durante la generación de energía limpia en el parque solar fotovoltaico Santa Teresa, Guantánamo.

Behavior of CO₂ during the clean energy generation in the Santa Teresa photovoltaic solar park, Guantánamo.

Autores: Yudith Pérez- Heredia¹, Ing. José R. Dupuy-Parra², Ing. Caridad Preval-Soto¹, Lic. Mairelis Videaux-Aguilar⁴.

Organismo: Empresa de Hiroenergía UEB Guantánamo (HIDROENERGÍA), Guantánamo, Cuba¹, Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible (CATEDES), Guantánamo, Cuba². Universidad de Guantánamo, Guantánamo, Cuba³.

E-mail: jose@catedes2.gtmo.inf.cu; jr.dupuy@nauta.cu

Resumen.

A nivel mundial se está promoviendo la sustitución de las fuentes de energía tradicionales por las renovables, tanto por un uso más eficiente de los recursos energéticos como por la necesidad de protección del medio ambiente. De manera especial, se aboga por la sustitución de los combustibles fósiles que son los más nocivos por su incidencia en la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂ y se apuesta por el empleo de la energía solar fotovoltaica. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la emisión de CO₂ respecto a la generación de energía eléctrica limpia por los cuatro parques solares fotovoltaicos de Santa Teresa. Entre otros, se obtuvo como resultado novedoso se presenta el estudio detallado de la generación energía por mes y su comparación con las emisiones de CO₂.

Palabras Clave: medio ambiente, efecto invernadero, generación de energía limpia, emisión de CO₂.

Abstract.

Globally, the replacement of traditional energy sources with renewable energy ones is being promoted, for a more efficient use of energy resources as well as the environmental protection. In particular, it advocates the replacement of fossil fuels which are the most harmful because of their impact on the greenhouse gases emission, such as CO₂, and it bets for the use of photovoltaic solar energy. This work aims to evaluate the emission of CO₂ with respect to the generation of clean electric energy by the four photovoltaic solar parks of Santa Teresa. Among others, the novelty result was the detailed study of energy generation per month and its comparison with CO₂ emissions.

Key Words: environment, greenhouse effect, clean energy generation, CO₂ emission.

Introducción.

Es inevitable el agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles, sobre las cuales se ha construido la matriz energética mundial desde la Revolución Industrial. Por otra parte, el consumo desmesurado de combustibles fósiles ha traído la emisión a la atmósfera de más de 2 585 000 millones de toneladas de CO₂ (Rivera y Olabe, 2015). De hecho, la comunidad científica alerta de que, con las proyecciones y medidas actuales, a finales de siglo la subida puede superar los tres grados, lo que señala directamente a la producción de gases contaminantes las emisiones de CO₂, si finalmente se cumplen las previsiones del informe, serán ya un 4 % superiores a la de 2015, cuando se firmó el Acuerdo de París. "No es alentador (...) Necesitamos medidas políticas para frenar las emisiones, pero necesitamos grandes políticas para hacer que las emisiones declinen. (Cumbre del Clima COP 25 Chile Madrid 2019).

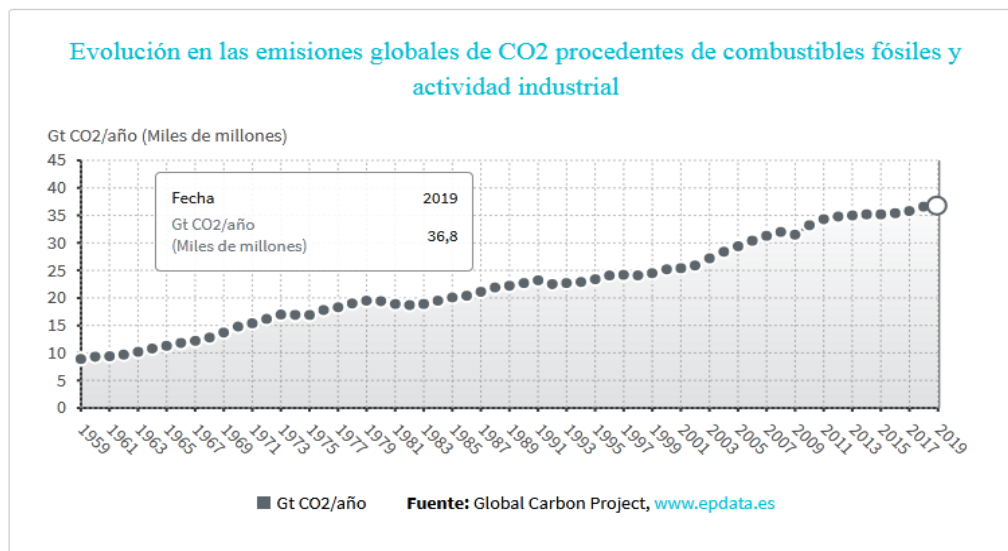


Figura1: Comportamiento de las Emisiones de CO₂ a nivel mundial en los últimos años.

Como se puede apreciar en la figura 1 Las emisiones de dióxido de carbono, que es el principal gas causante del efecto invernadero y por consiguiente del cambio climático, para el año 2019 volverán a aumentar pese a la desaceleración económica y al descenso en el uso del carbón, de forma que marcarán un nuevo récord cuando se cierre el año, según el último informe del Global Carbon Project que estima que se verterán a la atmósfera 36.800 millones de toneladas de CO₂, un 0,6 % más que el año pasado.

El principal país emisor de este gas de efecto invernadero en China, sigue liderando ampliamente la clasificación la segunda economía del mundo verterá a la atmósfera este año 10.300 millones de toneladas, un 2,6 % más, lo que le sitúa en una línea de crecimiento sostenido, ya que es un incremento similar al de los últimos tres años. La mayoría son por carbón, pero ya se están disparando también sus emisiones de petróleo un 6,9 % más y de gas un 9,1 % más. (Cumbre del Clima COP 25 Chile Madrid 2019). Sin embargo, en los últimos cinco años las emisiones totales han disminuido en

Cuba al igual que las emisiones per cápita, luego la situación está mejorando (Cuba-Emissiones de CO₂-2018).

El análisis de gases de combustión se utiliza para el control de eficiencia de sistemas de combustión y de emisiones gaseosas. No siempre se dispone del equipamiento necesario para realizar mediciones de combustión y gases contaminantes que se expulsan a la atmósfera en las instalaciones energéticas de Cuba. Por esto, se utilizan factores de emisión para estimar la cantidad de contaminante que se emite (Elieza Meneses-Ruiz Colectivo de Autores 2018).

La generación fotovoltaica se considera una alternativa ambientalmente ventajosa. Aunque el sistema energético de Cuba está basado fundamentalmente en el petróleo, se realizan avances en el uso de estas tecnologías. Entre los principales resultados destaca la rentabilidad del parque fotovoltaico en zona de azoteas conectado a la red con cargas (Alexander Domínguez Piloto, Sergio Jáuregui Rigó, Jorge Beltrán Marrero 2019) y en áreas donde el cultivo y la cría de animales no son sustentables para la sociedad por diversos motivos ambientales son destinadas para el montaje de sistemas fotovoltaicos conectados para la inyección a la red como es el caso que estamos estudiando. Resaltar que es con la instalación de estos sistemas anterior mentes dichos se puede llegar a disminuir la carga conteniente en la atmósfera como es el caso del dióxido de carbono (CO₂) generado por sistema de generación con sistemas de energía renovable, donde se genera electricidad.

Método o Metodología.

Recolección de los datos originales:

Los datos originales provienen de los operarios del parque, luego estos informan al Centro de Control de (Empresa de Hidroenergía UEB Guantánamo (HIDROENERGÍA) Guantánamo, ubicado en el municipio Guantánamo perteneciente al Ministerio de Energía y Minas (MINEN) que se encuentra localizado 8 Oeste %15 y 16 Sur. Los parques solares fotovoltaicos se localización también en la zona del Sur específicamente en la localidad de Sur Isleta, en Los Güiros-Santa Teresa. (Preval Soto. C 2020).

Se utilizó el área que se encuentra ubicado los parques Solares Fotovoltaicos de Santa Teresa con un total de paneles de 26400. Se tomaron los datos de la generación de electricidad con un total de 9327,946 MWh en el año 2019 por los cuatro parques instalados.

Generación de las muestras de disminución de CO₂ a la atmósfera y sus costos.

A partir del experimento original se generaron 48 nuevos datos donde se calculó la cantidad total 5427 Ton CO₂/MWh (Factor de Emisión 0,582 Ton CO₂/kWh 2017) deja de emitir a la atmosfera. También se modelaron los datos de costo promedios de la disminución de CO₂ dejados por mes (SENDECO2 2019) con un total de 1189,82\$/CO₂ y la generación de electricidad se graficaron en el programa Microsoft Excel utilizando la correspondencia lineal.

$$Y = bX - a$$

Donde:

Y: Generación de electricidad de los parques solares fotovoltaicos Santa Teresa 1 al 4.

X: Ingreso del precio del CO₂ dejados de emitir a la Atmósfera por la generación de energía limpia en los parques solares fotovoltaicos Santa Teresa 1 al 4.

Análisis de la Normalidad:

Se realizó en un diseño completamente lineal en cuatro lugares diferentes del lugar estudiado. Las muestras fueron tomadas de la data histórica de la generación de electricidad de los parques solares fotovoltaicos, se simularon y realizaron comparaciones de datos en tiempo real para ver su comportamiento.

Resultados y Discusión.

Ajuste de los datos originales.

En la tabla 1 se muestra la generación de electricidad por la batería de los parques fotovoltaicos en el año 2019. A partir de esta data histórica se empieza a determinar la cantidad de CO₂ que se han dejado de emitir a la atmósfera como se muestra en la tabla 2.

Tabla 1: Generación de Electricidad en los Parques Solares Fotovoltaicos de Santa Teresa.

Meses	U/M	Parque1	Parque2	Parque3	Parque 4
Enero	MW/h	282,28	242,99	71,11	167,83
Febrero	MW/h	294,04	255,69	76,61	180,40
Marzo	MW/h	327,32	280,21	84,01	196,10
Abril	MW/h	297,50	255,06	77,28	179,95
Mayo	MW/h	278,89	243,61	76,75	179,68
Junio	MW/h	295,24	205,61	75,32	180,79
Julio	MW/h	281,54	248,76	72,93	174,14
Agosto	MW/h	299,54	262,51	77,76	185,67
Septiembre	MW/h	276,91	243,33	70,52	169,62
Octubre	MW/h	273,62	237,22	68,23	177,09
Noviembre	MW/h	265,62	237,08	82,67	162,85
Diciembre	MW/h	271,82	284,39	69,42	30,49
Total	MW/h	3444,32	2996,45	902,58	1984,59
Total General	MW/h	9327,94			

Para determinar estas emisiones se calculó por la ecuación que a continuación se presenta y se utilizó el factor de emisión (FE_{CO2}) que es 0,582 Ton CO₂/MWh con este índice se multiplica con los valores de la tabla 1.

$$EM_{CO_2} = FE_{CO_2} * GEP_{ST}$$

Donde:

EM_{CO_2} : Emisiones de CO₂ dejadas de emitir a la atmósfera por energías limpias.

FE_{CO_2} : Indicador de factor de emisión de CO₂.

GEP_{ST} : Generación de Electricidad en los Parques Solares Fotovoltaicos de Santa Teresa.

Tabla 2: Emisiones de CO₂ dejadas de emitir a la atmósfera por energías limpias.

Meses	U/M	Parque1	Parque2	Parque3	Parque 4
Enero	Ton CO ₂	164,28	141,42	165,52	40,4
Febrero	Ton CO ₂	171,13	148,81	41,38	97,68
Marzo	Ton CO ₂	190,5	163,08	44,58	104,99
Abril	Ton CO ₂	173,15	148,45	48,89	114,13
Mayo	Ton CO ₂	162,32	141,78	44,97	104,73
Junio	Ton CO ₂	171,83	119,67	44,67	104,57
Julio	Ton CO ₂	163,86	144,78	43,84	105,22
Agosto	Ton CO ₂	174,33	152,78	42,44	101,35
Septiembre	Ton CO ₂	161,16	141,62	45,26	108,06
Octubre	Ton CO ₂	159,24	138,06	41,04	98,72
Noviembre	Ton CO ₂	154,59	137,98	39,71	103,07
Diciembre	Ton CO ₂	158,2	141,42	48,11	94,78
Total	Ton CO ₂	2004,6	1719,9	650,4	1177,7
Total General	Ton CO ₂	5552,6			

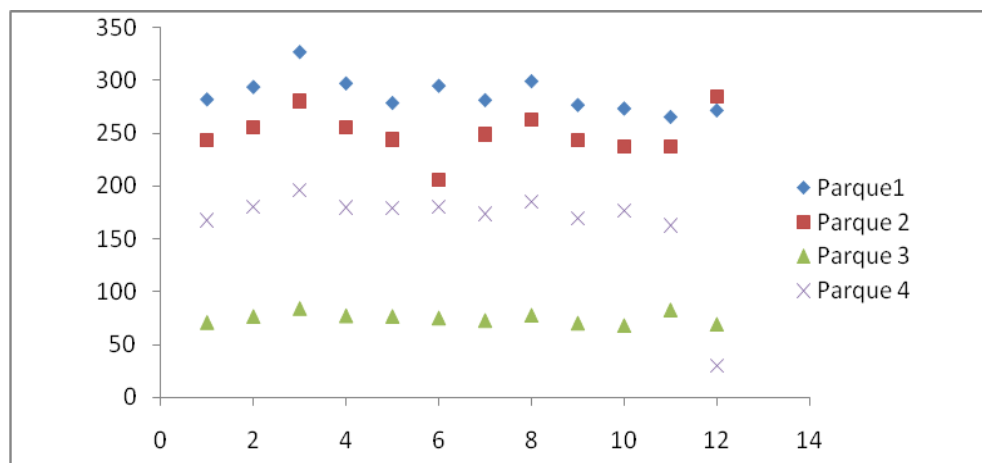


Figura 2: Comportamiento de la disminución de CO₂ a la atmósfera en el año 2019.

Como se puede observar en la figura 2 el comportamiento y disminución de CO₂ al medio ambiente por los cuatro parques solares de Santa Teresa, en el mes de marzo es donde ocurre los mayores picos y la disminución de gases de efecto invernadero, en

el mes de junio ocurre lo contrario al mes de antes mencionado, para el mes de septiembre ocurre el otro pico de disminución de CO₂, aunque es menor del que ocurre en el mes de marzo este es el comportamiento en general de los cuatro parques. En lo específico el parque 1 se mantiene casi lineal y ocurre un pico como en el mes de septiembre, en el parque 2 se mantiene lineal, pero en el mes de noviembre tiene un descenso como en el mes de junio y en el mes de diciembre tiene un pico mucho mayor que el ocurrido del en mes de marzo, en el parque 3 el comportamiento es casi lineal en casi todo el año teniendo picos en los meses de marzo, agosto y noviembre y descenso en los meses abril, mayo, junio y julio. El parque 4 tiene los picos en los meses de marzo, agosto y noviembre, este último menos que los otros dos, los descensos en los meses abril, mayo junio que se mantienen lineal, los otros ocurren en los meses de septiembre y diciembre este último el mayor de todos los que ocurren en los cuatros parques.



Figura: 3 Parques solares fotovoltaicos de Santa-Teresa.

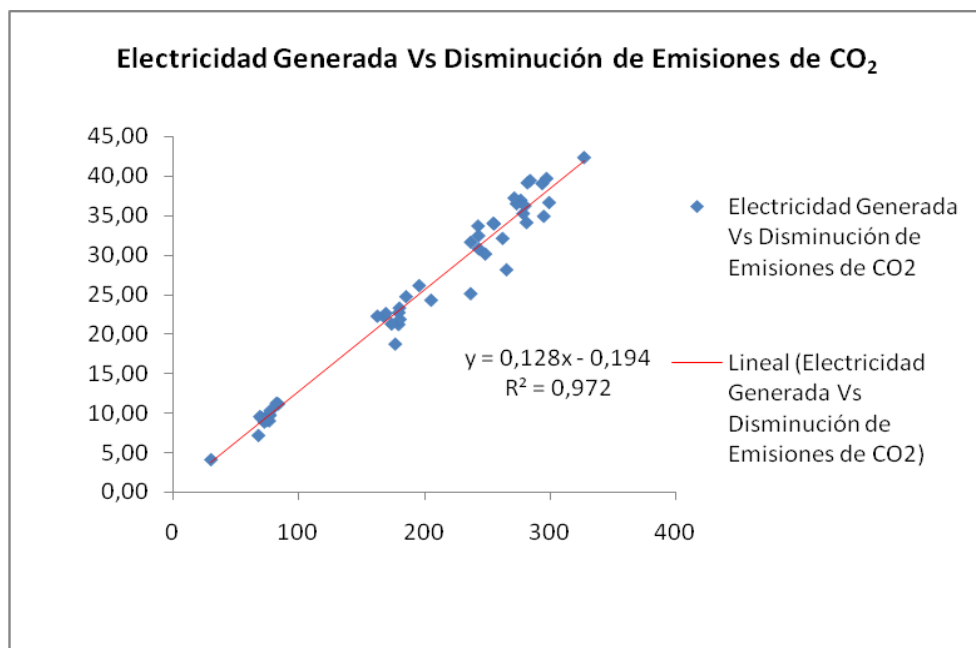


Figura: 4 Comportamiento de la Electricidad generada contra disminuciones de CO₂.

Como se puede apreciar en la figura 4 los puntos muestran que existe una correspondencia lineal entre la electricidad generada y la disminución de CO₂. Donde la R-cuadrada del modelo es de 0,9725, lo cual significa que hay un ajuste apropiado entre los dos factores antes mencionado, dado que estos valores exceden el umbral del 0,6 (Webster, 2000).

Para determina el Ingreso por las disminuciones de CO₂ dejados de emitir se tuvo en cuenta el precio promedio por meses por cada Tonelada de CO₂ según el sistema de crédito internacional de España, que se ha de dejar de emitir por la generación de energía eléctrica limpia como se aprecia en la tabla 3.

Tabla: 3 Precio promedio del CO₂ por meses año 2019 (SENDECO2 - 2019).

Meses	U/M	Promedio
Enero	\$	0,238
Febrero	\$	0,228
Marzo	\$	0,222
Abril	\$	0,229
Mayo	\$	0,217
Junio	\$	0,203
Julio	\$	0,208
Agosto	\$	0,21
Septiembre	\$	0,229
Octubre	\$	0,229
Noviembre	\$	0,182
Diciembre	\$	0,235
Total	\$	2,63

Se calculó por la ecuación que a continuación se presenta y se utilizó el precio promedio del CO₂ por meses en el año 2019; las emisiones de CO₂ dejadas de emitir a la atmósfera por el empleo de energías limpias y se determinó el ingreso por las disminuciones de CO₂ dejados de emitir al medio ambiente por la generación de energía limpia estos resultados se puede observar en la tabla 4.

$$ID_{CO_2} = PP_{CO_2} * E.$$

Donde:

ID_{CO2}: Ingreso por las disminuciones de CO₂ dejados de emitir.

PP_{CO2}: Precio promedio del CO₂ por mes año 2019. (SENDECO2 - 2019).

Tabla: 4 Ingreso por las disminuciones de CO₂ dejados de emitir.

Meses	U/M	Parque1	Parque2	Parque3	Parque 4
Enero	\$ -Ton CO ₂	39,10	33,7	9,8	9,6
Febrero	\$ -Ton CO ₂	39,02	33,9	10,2	22,3
Marzo	\$ -Ton CO ₂	42,29	36,2	10,9	23,3

Abril	\$ -Ton CO ₂	39,65	34,0	10,3	26,1
Mayo	\$ -Ton CO ₂	35,22	30,8	9,7	22,7
Junio	\$ -Ton CO ₂	34,88	24,3	8,9	21,2
Julio	\$ -Ton CO ₂	34,08	30,1	8,8	21,9
Agosto	\$ -Ton CO ₂	36,61	32,1	9,5	21,3
Septiembre	\$ -Ton CO ₂	36,91	32,4	9,4	24,7
Octubre	\$ -Ton CO ₂	36,47	31,6	9,1	22,6
Noviembre	\$ -Ton CO ₂	28,14	25,1	8,8	18,8
Diciembre	\$ -Ton CO ₂	37,18	38,9	9,5	22,3
Total	\$ -Ton CO ₂	439,54	383,10	114,83	256,84
Total General	\$ -Ton CO ₂	1194,31			

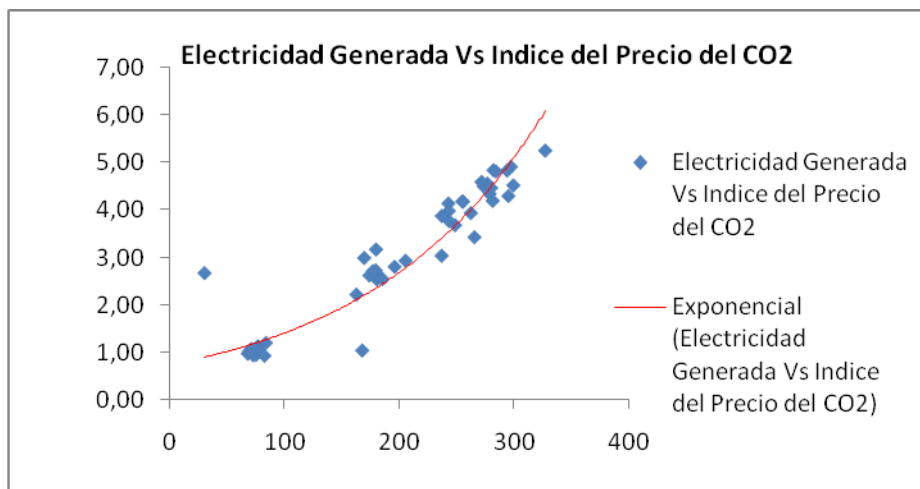


Figura: 5 Comportamiento de la electricidad generada contra el índice del precio del CO₂.

Tabla:5 índice del precio del CO₂.

Meses	U/M	Parque1	Parque2	Parque3	Parque 4
Enero	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,83	4,13	1,07	1,04
Febrero	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,82	4,17	1,11	2,67
Marzo	MW/h/\$ -Ton CO ₂	5,24	4,46	1,20	2,80
Abril	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,91	4,18	1,13	3,17
Mayo	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,34	3,76	1,05	2,73
Junio	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,29	2,93	0,95	2,54
Julio	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,19	3,68	0,94	2,62
Agosto	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,51	3,93	1,03	2,54
Septiembre	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,55	3,98	1,01	2,99
Octubre	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,50	3,87	0,98	2,71
Noviembre	MW/h/\$ -Ton CO ₂	3,42	3,04	0,93	2,22
Diciembre	MW/h/\$ -Ton CO ₂	4,59	4,81	1,03	2,67
Total	MW/h/\$ -Ton CO ₂	49,4	42,8	11,4	29,7
Total General	MW/h/\$ -Ton CO ₂	133,2			

A de partir evaluar la ecuación $Y = bX - a$ se determinó el índice del precio del CO₂ (Tabla 5). Teniendo como resultado que los precios aumentan con el tiempo, como se puede apreciar en la figura 5 por encima de la línea roja (Exponencial) se encuentra más de 50% de los puntos azules que indica el buen comportamiento de estos indicadores.

Aunque en la actualidad la UEB de Hidroenergía de Guantánamo no ingresa por este concepto a su cuenta en la economía. En la actualidad en todas las instituciones en el mundo que usan esta tecnología tienen ese aporte adicional por lo que se debe tener en cuenta ya que es un gran aporte a la atmósfera y al bienestar de trabajadores.

Conclusiones.

El trabajo se desarrolló en los cuatro parques solares fotovoltaicos Santa Teresa del municipio de Guantánamo, provincia del mismo nombre nos arrojó que la utilización de esta tecnología se disminuye los efectos contaminantes que afectan al medio ambiente generado por la disminución de CO₂ (dióxido de carbono). Ha causado que se utilicen tierras que la actualidad no tienen un uso adecuado ni se explote en la producción de alimentos, ni cría de animales y si se utilizar para la generación de electricidad.

Después de identificar varios aspectos que mejoran el medio ambiente por la generación de energía limpia y el ingreso que no obtiene la UEB Hidroenergía Guantánamo por un valor total general de 1194,31 \$-Ton CO₂. Se identificó también la cantidad de gases de efecto invernadero dejadas de emitir es de 5552,6 Ton CO₂. Todo este comportamiento tiene la base en la generación de electricidad en el tiempo estudiado de 9327,94 MW/h, entre los cuatro parques el mayor es el primero con un total de 3444,32 MW/h que representa el 37% del total. Resaltar también que a medida que transcurre en el tiempo aumenta los ingresos por este concepto, ingresos que no residen el centro.

Bibliografía.

Alexander Domínguez Piloto, Sergio Jáuregui Rigó, Jorge Beltrán Marrero (2019). Sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar la división territorial Copextel Cienfuegos. Anteproyecto y simulación. Revista Centro Azúcar. VOL 46, octubre-diciembre, 2019 ISSN: 2223- 4861.

Cuba- Emisiones de CO₂-2018 (2018) <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/cuba>.

Cumbre del Clima COP 25 Chile Madrid (2019) <https://www.rtve.es/noticias/20191204/emisiones-dioxido-carbono-siguen-aumentando-marcaran-nuevo-record-2019/1993128.shtml><https://www.epdata.es/>: La actualidad informativa, en datos consulta y crea gráficos fuentes estatales, de comunidades autónomas y municipios.

Elieza Meneses-Ruiz Colectivo de Autores (2018). Factores de emisión de CO, CO₂, NO_x y SO₂ para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba. Revista Cubana de Meteorología, Vol.24, No.1, pp. 1-9, 2018, ISSN: 0864-151X.

Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional. Electricidad y emisiones de 0,582 Toneladas de CO₂/MWh

file:///C:/Users/dr/Documents/Publicaci%C3%B3n/Factor_de_Emisi_n_del_Sector_Elctrico_Nacional_1.pdf año 2017.

Preval Soto, Caridad (2020) Generación de energía eléctrica, parques solares Santa Teresas 1 al 4. Centro de Control UEB, UEB Hidroenergía Guantánamo.

Rivera, T. y Olabe, A., La cumbre del clima en París., Documento de trabajo 3/2015, Real Instituto Elcano, 2015, pp. 1-25.

Sistema europeo de negociación de CO₂ (SENDE CO₂). <https://www.sendeco2.com/es/> año 2019.

Webster A. L. Estadística aplicada a los negocios y a la economía. 3ra Edición. Editorial Irwin McGraw-Hill. Año 2000, ISBN: 958-41-0072-6. 651p.

Fecha de recibido: 7 mar. 2020

Fecha de aprobado: 13 may. 2020