



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTAL DE CUBASOLAR



**REVISTA CIENTÍFICA de las
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA**

54



El abastecimiento de agua a un poblado o a un sistema de regadío de un campo de cultivo con el uso del sifón con recipiente de compensación	1
Sobre las instalaciones FV conectadas a la red del SNE en Cuba	6
Ambiente térmico y visual interior. Caso de estudio.....	40
Tecnología de riego con secano favorecido. Estudio de caso	65
La cáscara de arroz, un problema medioambiental para la ciudad de Manzanillo. Propuestas de soluciones para el desarrollo local.....	75
Macroecología, principios y aplicaciones	86

El abastecimiento de agua a un poblado o a un sistema de regadío de un campo de cultivo con el uso del sifón con recipiente de compensación

Water supply to a town or to a sprinkler system of a farming field with the use of the siphon with container of compensation

*Por Dr. Luis Bériz Pérez**

** Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental, Cubasolar, La Habana, Cuba.
e-mail: berriz@cubasolar.cu*

Resumen

En el artículo se describe un nuevo esquema de sifón que permite el autocebado sin necesidad de utilizar bombas ni válvulas de cheque y ni siquiera tener que llenar la tubería de bajada del sifón, sino por medio del uso de un tanque de compensación situado cerca del consumo. También con este esquema de sifón con tanque de compensación se puede poner a funcionar un sistema grande de sifones para abastecer una ciudad o el regadío de grandes áreas de cultivo, y de esta forma echar a andar un gran sistema con un pequeño sifón de arranque.

Palabras clave: Agua, sifón, energía renovable.

Abstract

In the article it is described a new arrangement of siphon that allow the self-priming without using pumps neither check valves and not even having to fill the piping with slope of the siphon, but through a compensation tank placed close to consumption. Also this scheme of siphon with compensation tank can put to work a big system of siphons to supply a city or the irrigation of large areas of cultivation, and in this way start walk ing a larger system with a little siphon at the initial stage.

Keywords: Water, siphon, renewable energy

Introducción

Uno de los métodos que se pueden utilizar para aumentar la seguridad alimentaria y disminuir la dependencia del petróleo y de la maquinaria importada es el uso del sifón para el abastecimiento de agua para el regadío. También, para el suministro de agua a una población.

Pero el sifón tiene inconvenientes, principalmente cuando el campo que se pretende regar o la población a la que se requiere abastecer de agua están situados a varios cientos de metros de la toma de la represa, e inclusive a kilómetros.

Con el objetivo de disminuir los inconvenientes del uso del sifón, principalmente con las dificultades de su cebo, existe una patente cubana registrada por el Ing. Jorge Luis Cortada llamada «Sifón autocebante de garganta».

Otra variante puede ser la introducción de un recipiente de compensación de presiones, con lo cual se pueden evitar muchos de los inconvenientes del cebado de los sifones, principalmente cuando son de grandes capacidades y la toma de agua está lejos del lugar de consumo.

En este trabajo se describen el principio de su funcionamiento y los cálculos.

Desarrollo

Teorema: Si a un sifón, cerca de la válvula de descarga se le pone en el conducto de bajada y a una altura superior a la ascendente del sifón un recipiente de compensación de un volumen tal que logre el vacío necesario para subir la columna de agua de la sección ascendente del conducto, el sifón trabajará sin la necesidad de provocar vacío con ningún equipo, ni de llenar con agua el conducto descendente.

Demostración:

Sea: p_1 la presión atmosférica expresada en metros de columna de agua

$$p_1 = 10 \text{ m(H}_2\text{O)}$$

h_a la altura del conducto ascendente

p_2 la presión de vacío necesaria para elevar la columna de agua a una altura de h_a

$$p_2 = (10 - h_a) \text{ m(H}_2\text{O)}$$

k_c el coeficiente de compensación de la presión

$$k_c = (p_1/p_2) = 10/(10 - h_a)$$

V_a el volumen de la tubería ascendente

V_{d2} el volumen de la tubería descendente intermedia, o sea, desde el punto que está a una altura equivalente a la toma de la represa, hasta el recipiente de compensación

V_{d3} el volumen de la tubería descendente superior, o sea, desde el punto más alto hasta el punto que está a una altura equivalente a la toma de la represa

V_1 el volumen de la tubería desde la toma hasta el recipiente de compensación

$$V_1 = V_a + V_{d2} + V_{d3}$$

V_r el volumen mínimo requerido del recipiente de compensación.

V_2 el volumen del recipiente más el de las tuberías descendentes superior e intermedia $V_2 = V_r + V_{d2} + V_{d3}$

h_{d1} la altura de la tubería descendente inferior, o sea, desde el tanque de compensación hasta la válvula de salida

Según la ley de los gases ideales para una temperatura T constante:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$\text{O sea: } p_1 (V_a + V_{d2} + V_{d3}) = p_2 (V_r + V_{d2} + V_{d3})$$

Pero como $k_c = p_1/p_2$

El valor mínimo del recipiente de compensación deberá ser:

$$V_r = k_c V_a + (k_c - 1)(V_{d2} + V_{d3})$$

El recipiente deberá estar situado a una altura h_{d1} mayor que h_a para que se pueda producir la bajada inicial del agua, y de esa forma producir el vacío necesario.

Es bueno tener el conocimiento de que si en una instalación hay varios sifones en paralelo para extraer agua de una represa, si uno está funcionando puede ayudar a que los demás empiecen a funcionar. Esto significa que es necesario solamente echar uno a funcionar para que puedan funcionar los demás. Esto es independiente del diámetro de la tubería o del caudal de los sifones, lo que significa que se puede echar a andar un sifón de gran caudal con el auxilio de uno de bajo caudal.

Según lo anterior, se puede resolver el cebado de un sifón de gran caudal si se echa a funcionar uno de pequeño caudal, y con este cebar al de gran caudal. La diferencia de caudales influye en el tiempo que demora la operación. El problema se reduce a echar a funcionar un sifón de pequeño caudal; en este caso el sifón de pequeño caudal funciona como «sifón de arranque» del sistema.

Ejemplo:

Se quiere abastecer a un pueblo de más de 3 mil habitantes y además regar una extensa área para el cultivo de arroz con el agua de una represa, todo ello con el uso de sifones para no depender de las bombas importadas, del petróleo ni de la electricidad.

Se requiere calcular la capacidad del recipiente de compensación del sifón de arranque del sistema, o sea, el de bajo caudal.

En primer lugar, se determinaron los datos necesarios para poder calcular la capacidad del recipiente de compensación, los cuales fueron los siguientes:

- altura del conducto ascendente $h_a = 5$ metros
- coeficiente de compensación de la presión
- $k_c = 10 / (10 - h_a) = 2$
- diámetro de la tubería del sifón $d = 12,5$ mm o $d = 0,125$ dm
- longitud de la tubería ascendente, $L_a = 15$ m o $L_a = 150$ dm
- volumen de la tubería ascendente $V_a = (\pi d^2 / 4) L_a = 1,84$ litros
- longitud de la tubería descendente hasta el recipiente de compensación $(L_{d2} + L_{d3})$

$$(L_{d2} + L_{d3}) = 150 \text{ m o } 1500 \text{ dm}$$

- el volumen de la tubería descendente hasta el recipiente de compensación

$$V_{d2} + V_{d3} = (\pi d^2 / 4) (L_{d2} + L_{d3}) = 18,4 \text{ litros}$$

El valor mínimo del recipiente de compensación deberá ser:

$$V_r = k_c V_a + (k_c - 1) (V_{d2} + V_{d3}) = 22 \text{ litros}$$

O sea, que con una tubería de media pulgada y un recipiente de 25 litros se puede echar a andar cualquier sistema de sifones que se proponga.

Para que un sifón principal pueda ser cebado con un sifón de arranque, se debe cumplir el requisito de que el volumen de la sección intermedia de la parte descendente del sifón tenga un volumen mínimo de:

$$V_{d2} = k_c V_a + (k_c - 1) V_{d3}$$

Si el volumen de la sección intermedia es mayor, se garantiza mejor su funcionamiento. En el caso de que con la tubería de bajada no se cumpla con este requisito, se puede poner en cualquier lugar de esta sección un recipiente de compensación, el cual se llenará con el sifón de arranque.

Si existiera más de un sifón de gran caudal, puede cebarse sucesivamente con el auxilio del primero de gran caudal, pues aceleraría el proceso de cebado.

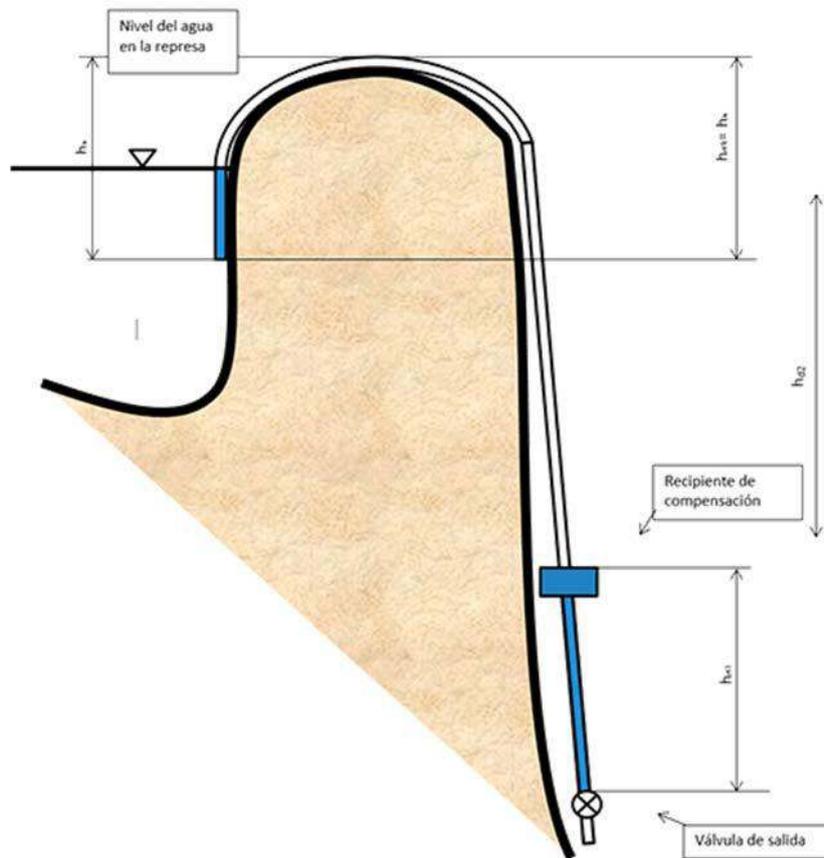


Fig. 1. Esquema de sifón con recipiente de compensación.

Bibliografía

- CENTRO DE INVESTIGACIONES HIDRÁULICAS (1998). Reg. Ispjae Fo.085, No.1898, MES Fo.157, No.3923.
- CORTADA FERRERA, JORGE LUIS (S/A). «Sifón autocebante de garganta, un diseño sin equipamiento auxiliar para el cebado y mantenimiento del flujo». Tesis presentada en opción al título de Máster, La Habana.
- FEDERICO COZ, T. SÁNCHEZ Y J. RAMÍREZ (1995). *Manual de mini y microcentrales hidráulicas*. Lima: ITDG, 1995. ISBN 1853392782.
- «Metodología para el diseño de un sifón autocebante» (1999). La Habana: Ministerio de la Agricultura,
- OCPI (1998). Patente de Invención «Sifón autocebante de garganta». La Habana: OCPI (Oficina Cubana de la Propiedad Industrial), No. 22524, Clasificación Internacional de Patentes-E03V7/07.

Sobre las instalaciones FV conectadas a la red del SNE en Cuba

On the grid-tied PV facilities in Cuba

*Por Dr. Daniel Stolik Novygrad **

** Instituto de Materiales y Reactivos (Imre).*

La Habana, Cuba.

e-mail: stolik@imre.oc.uh.cu

Resumen

El trabajo expone el consumo mundial de electricidad per cápita, y su comparación con Cuba. Aborda los líderes mundiales en instalaciones FV; su aumento estratégico a largo plazo; las instalaciones FV conectadas a la red eléctrica; el consumo total de electricidad por sectores: residencial, comercial, industrial, grandes clientes; el incremento de las instalaciones FV; los parques FV; los costos del kWh FV; el aporte de la FV al desarrollo económico del país; estrategia FV para el país. Todo ello favorece el estudio, valoración y actualización de profesionales y líderes, sobre la importancia y avances de esta tecnología.

Palabras claves: Consumo eléctrico, líderes FV, estrategia FV, consumo FV, generación distribuida, costos kWh FV, parques FV.

Abstract

The current paper exposes the worldwide consumption of electricity per capita, and its comparison with Cuba. The paper also presents the world leaders in PV facilities, its strategic long-term increase, the grid-tied PV facilities and the total electricity consumption by sectors: Residential area, commercial, industrial, large customers. The increment of the PV facilities, PV farms, the cost of the photovoltaic kilowatt-hour, the contribution of PV to the economic development of the country, a PV strategy for the country. All favors the study, assessment and updating of professionals and leaders about the importance and advances of this technology.

Keywords: Electric consumption, PV leaders, PV strategy, PV consumption, distributed generation, cost of photovoltaic kilowatt-hour, PV farms

Introducción

En el trabajo anterior «Construcción, montaje, financiamientos, costos FV», que puse a disposición del Ministerio de Energía y Minas (Minem) y la Unión Eléctrica (UNE), planteaba el objetivo de contribuir al máximo a la disminución de costos en la construcción y montaje de los sistemas FV teniendo en cuenta los costos FV totales, en el que realizaba un análisis

integral donde incluía la problemática de cómo debía ser la ruta crítica de las distintas variantes de instalaciones FV, teniendo en cuenta las características de Cuba al respecto.

De las páginas 37 a la 43 de Conclusiones y Recomendaciones expuestas en el referido documento, transcribo a continuación textualmente solo algunas que se refieren a la estrategia a desarrollar por sectores un programa FV de corto a largo plazo para Cuba, destacando:

De la pág. 40:

Las potencias FV pueden cubrir un amplio espectro, desde fracciones de kWp hasta decenas de (mundialmente cientos) mWp, (...) los sistemas FV se deben instalar lo más cerca del consumo y sobre todo en autoconsumo. En este sentido las fábricas de mayor labor diurna que posean terrenos en su lateral sur se prestan notablemente para ubicar la planta FV, con mayor simplificación de la estructura y menor costo debido a que el edificio rompe el viento proveniente del norte.

De la pág. 41:

En parques FV la electricidad es generada o comprada por las empresas eléctricas para inyectar a la red eléctrica 100 % de su generación eléctrica, se caracterizan por ser los de mayores potencias, instalados casi siempre en el suelo (algunos en grandes cubiertas o en espejos de agua). Los del lado del cliente mayormente se instalan en techos y cubiertas, en ocasiones en el suelo, dirigidos a los segmentos siguientes: residencial, industrial, comercial y social.

(...)

Los parques en el suelo son una importante vía para la introducción en mayor medida de la FV, debido a que tributa directa y grandemente al costo fósil evitado. En lo últimos años han ido rápidamente aumentando en número y en potencia (se muestran ejemplos).

De la pág. 42:

La distribución de las instalaciones FV depende fuertemente de cada país, por ejemplo si el costo del kWh que se paga por la factura eléctrica es elevada, y el costo al respecto del kWh FV es menor que la del mix, entonces le es atractivo al cliente residencial financiar la instalación FV (ver ejemplos).

En el caso de Cuba el cliente residencial paga mucho menos de lo que le cuesta al país la generación de cada kWh, por lo que en un análisis de promoción de la FV en el segmento residencial por costo fósil evitado, sería inevitable recurrir a fuertes subvenciones en la adquisición por el cliente de los sistemas FV.

(...)

Si bien el desarrollo FV mundial conectado a red comenzó mayormente por el sector residencial, el comercial ha ido en aumento y posteriormente el industrial con un fuerte desarrollo actual. El industrial constituye un nada despreciable cercano a la cuarta parte del consumo eléctrico nacional, pero como necesidad del desarrollo económico del país debe aumentar sustancial y paulatinamente hasta el año 2030.

Desde el punto de vista de costo del sistema FV, el comercial se comporta entre los costos de parques y los del residencial.

Elementos a favor de las instalaciones industriales serían: priorizar aquellas de consumo más bien diurno y contar con una zona inmediata al sur aledaña a las edificaciones de la industria, apropiada para la instalación FV.

Todos los sectores, tanto en parques como los del lado del cliente (industria, comercial, residencial, social) son importantes, pero es necesario analizar la situación en cada país para establecer una ruta crítica de desarrollo de acuerdo con la rápida evolución que ha tenido la FV. En este sentido es muy correcto el desarrollo de instalaciones de parques FV lo más distribuido geográficamente y cerca de los consumos posibles (...)

Hemos insistido en priorizar el sector industrial, que puede en mayor medida contribuir al financiamiento de las instalaciones FV (ver los otros trabajos que la consultoría ha elaborado al respecto). Las potencias pueden estar en un amplio rango, del orden de los parques FV pero también algo menores (como de unos 100 kWp en adelante). Para el país en este sector se necesita de más energía, que de priorizarse en generación diurna puede contribuir a una curva de carga más extendida en horas de sol; le siguen las instalaciones comerciales y sociales también más bien de consumo diurno, en las que las potencias necesarias continúan disminuyendo. Para todos estos sectores las instalaciones de diversas dimensiones pueden ser tanto en techos, cubiertas y suelos.

De la pág. 43:

Para el residencial las potencias de cada instalación son las más pequeñas, por ello son las más caras por Wp, prácticamente todas en techos; para su promoción habría que resolver primero la motivación del cliente para acometer económicamente la instalación, y el monto de las subvenciones que el Estado podría afrontar.

Para los parques FV, para los sectores industrial y comercial es más factible promover el entendimiento de la necesidad del aporte FV a la sustitución de generación eléctrica en un marco de mediano y largo

plazos, para lo cual se hace necesario acometer desde ahora en base al costo fósil evitado.

A continuación profundizaremos específicamente en los elementos tácticos y estratégicos para acometer en el decursar del tiempo los distintos tipos de instalaciones: parques (plantas) FV o las variantes «del lado del cliente» siguientes: residencial, industrial, comercial u otros

Argumentos complementarios sobre las instalaciones FV conectadas a la red del SNE en Cuba

El objetivo principal del desarrollo FV del país, al igual que el de las otras FRE, es aportar en la búsqueda de una soberanía energética donde se incluye en forma importante el consumo de electricidad con vistas a la sustitución paulatina del consumo de combustibles fósiles que originan un altísimo grado de subvenciones, a la vez que se torna en un obstáculo para el aumento de la generación eléctrica en función del desarrollo económico y social del país.

Para definir una estrategia al respecto transitaremos de lo general a lo particular, en este sentido se hace necesario valorar primeramente la magnitud actual y perspectiva de la generación y consumo eléctrico en el país, tarea compleja que requiere de un análisis integral.

Para este propósito nos auxiliaremos específicamente de la comparación de los niveles de consumo de electricidad en el marco global, acudiendo a los niveles de consumo per cápita, desde los más a los menos desarrollados, desde los más grandes a los más pequeños en extensión y población, independientemente del sistema político social de los mismos y de todos los continentes.

Analicemos para ello la tabla que exponemos a continuación, que expresa el consumo en kWh de cada uno de 193 países del mundo, incluyendo colonias y posesiones en forma descendente, y en la columna **p/c** cuántas veces el per cápita de cada país es mayor o menor que el de Cuba.

Tabla 1. Consumo mundial de electricidad per cápita (kWh por habitante)

No.	País	kWh	P/C	No.	País	kWh	P/C	No.	País	kWh	
1	Islandia	51 142	40	66	Macedonia	3341	2,7	131	Samoa	569	0,46
2	Liechtenstein	36 448	29	67	Bielorrusia	3303	2,7	132	India	565	0,46

3	Noruega	23 486	19	68	Turkmenistán	3302	2,7	133	Honduras	564	0,46
4	Kuwait	17 031	14	69	Bos. Herceg.	3260	2,6	134	Guatemala	557	0,45
5	Finlandia	16 100	13	70	Chile	3106	2,5	135	Zambia	544	0,44
6	Emiratos Ár.	15 131	12	71	Letonia	3030	2,4	136	Filipinas	528	0,43
7	Canadá	14 351	11	72	Venezuela	2946	2,4	137	Nicaragua	503	0,41
8	Suecia	13 986	11	73	Lituania	2938	2,4	138	Cabo Verde	496	0,4
9	Luxemburgo	12 378	10	74	Seychelles	2872	2,3	139	Pap. N.Guinea	476	0,38
10	EE.UU.	12 186	9,8	75	Argentina	2582	2,1	140	Mozambique	413	0,33
11	Taiwán	10 368	9,4	76	Tailandia	2501	2	141	Sri Lanka	408	0,33
12	Islas Caimán	10 052	8,1	77	Surinam	2482	2	142	Yibuti	373	0,3
13	Bahráin	9870	8	78	Irán	2472	2	143	Tonga	358	0,29
14	Qatar	9660	7,8	79	S. Kitts y Nevis	2437	2	144	Pakistán	357	0,29
15	Australia	9486	7,7	80	Líbano	2412	1,9	145	Laos	353	0,28
16	N. Zelanda	9260	7,5	81	Rumania	2410	1,9	146	Angola	241	0,2
17	Corea Sur	9166	7,4	82	Uruguay	2388	1,9	147	Bangladesh	234	0,19
18	Bélgica	8104	6,6	83	Bután	2290	1,9	148	Camerún	224	0,18
19	Brunéi	8023	6,5	84	Brasil	2249	1,8	149	Kiribati	223	0,18

20	Singapur	7765	6,3	85	Azerbaiyán	2095	1,7	150	Yemen	212	0,17
21	Austria	7759	6,3	86	Turquía	2088	1,7	151	Ghana	206	0,16
22	Suiza	7315	5,9	87	Santa Lucía	2038	1,7	152	Vanuatu	192	0,15
23	Macao	7299	5,9	88	Tayikistán	1998	1,6	153	Mauritania	185	0,15
24	Rusia	7286	5,9	89	Siria	1984	1,6	154	Costa de Marfil	169	0,14
25	Alemania	7192	5,8	90	Namibia	1928	1,6	155	Camboya	166	0,13
26	Francia	6986	5,6	91	Georgia	1900	1,5	156	Senegal	163	0,13
27	Arabia Saudí	6981	5,6	92	Armenia	1895	1,5	157	Sudán	160	0,13
28	Países Bajos	6921	5,6	93	Belice	1848	1,5	158	Lesoto	158	0,13
29	N. Caledonia	6870	5,5	94	Costa Rica	1794	1,5	159	Sáhara Occ.	151	0,12
30	Japón	6764	5,5	95	Mauricio	1771	1,4	160	S. Tomé y Prín.	147	0,12
31	Rep. Checa	6629	5,4	96	México	1765	1,4	161	Kenia	137	0,11
32	Andorra	6581	5,3	97	Panamá	1721	1,4	162	Congo	126	0,10
33	Eslovenia	6367	5,2	98	Jordania	1707	1,4	163	Islas Salomón	125	0,10
34	Estonia	6318	5,1	99	Iraq	1639	1,3	164	Guin, Ecuador. I	125	0,10
35	Israel	6230	5	100	Granada	1620	1,3	165	Nigeria	115	0,09
36	Isl. Malvinas	6222	5	101	Uzbekistán	1539	1,2	166	Gambia	111	0,09

37	Hong Kong	6216	5	102	Albania	1507	1,2	167	Myanmar	109	0,09
38	Trin. Tobago	6198	5	103	Botsuana	1446	1,2	168	Malawi	106	0,08
39	Dinamarca	6026	4.9	104	Egipto	1409	1,1	169	Togo	92	0,07
40	Bahamas	5577	4.5	105	Mongolia	1338	1,1	170	Nepal	89	0,07
41	Irlanda	5401	4.4	106	Kirguizistán	1307	1,1	171	Benín	86	0,07
42	Puerto Rico	5366	4.3	107	Dominica	1273	1	172	Rep. D. Congo	80	0,06
43	Malta	5358	4.3	108	R.Dominicana	1267	1	173	Guinea	79	0,06
44	Grecia	5234	4.2	109	Ecuador	1238	1	174	Afganistán	78	0,06
45	España	5231	4.2	110	Cuba	1235	1	175	Liberia	76	0,06
46	Reino Unido	5072	4.1	111	S Vic. y Gran.	1229	1	176	Tanzania	69	0,05
47	Montenegro	5044	4.1	112	Túnez	1215	0,98	177	Uganda	61	0,05
48	Italia	4981	4	113	Moldavia	1175	0,95	178	Timor Oriental	56	0,04
49	Kazajistán	4909	4	114	Antigua y Barb.	1172	0,95	179	Madagascar	49	0,04
50	Sudáfrica	4841	3,9	115	Perú	1136	0,92	180	Comoras	49	0,04
51	Groenlandia	4833	3,9	116	Vietnam	1113	0,90	181	Níger	48	0,04
52	Eslovaquia	4826	3,9	117	Jamaica	1046	0,85	182	Etiopía	46	0,03
53	Omán	4758	3,8	118	Paraguay	1011	0,82	183	Burkina Faso	42	0,03

54	Portugal	4648	3,7	119	Colombia	981	0,79	184	Eritrea	40	0,03
55	Bulgaria	4399	3,6	120	El Salvador	940	0,76	185	Guinea-Bissau	37	0,03
56	Libia	4042	3,3	121	Zimbabue	913	0,74	186	Malí	29	0,02
57	Polonia	4042	3,3	122	Fiyi	895	0,72	187	Rep. Centrafr.	28	0,02
58	Ucrania	3958	3,2	123	Argelia	868	0,7	188	Somalia	28	0,02
59	China	3926	3,2	124	Gabón	862	0,7	189	Ruanda	26	0,02
60	Serbia	3889	3,1	125	Suazilandia	745	0,6	190	Sierra Leona	23	0,02
61	Croacia	3736	3	126	Marruecos	716	0,58	191	Burundi	21	0,02
62	Malasia	3724	3	127	Corea Norte	709	0,57	192	Haití	21	0,02
63	Hungría	3642	2,9	128	Guyana	696	0,56	193	Chad	8	0,01
64	Nauru	3431	2,8	129	Bolivia	653	0,53				
65	Barbados	3404	2,7	130	Indonesia	623	0,5				

Fuente: Elaborado por Dr. Stolik en base a datos de CIA World Factbook, enero 2014.

De la tabla anterior se deduce que el consumo per cápita es:

En 109 países mayores que el de Cuba:

41 son de Europa (todos menos uno de la región).

2 de EE.UU. y Canadá (10 veces más que Cuba).

23 de Asia y Oceanía (53 % de la región).

22 de América Latina y Caribe (63 % de la región).

16 de Medio Oriente (todos de la región).

5 de África (9 % de la región).

En 83 países menores que el de Cuba:

49 son de África (91 % de la región).

13 de América Latina y Caribe (37 % de la región).

20 de Asia y Oceanía (47 % de la región).

1 de Europa (2 % de la región).

El promedio per cápita mundial de todos los países del mundo es dos veces mayor que el de Cuba. El de los países europeos específicamente es hoy cerca de cuatro veces el de Cuba. Es curioso notar que países de América Latina y Caribe como Puerto Rico tienen hoy 4 veces el per cápita de Cuba.

Solo con el ánimo de hacer una reflexión inicial extremadamente aproximada, expondremos una estrategia de acuerdo con un posible desarrollo económico y social a alcanzar hacia el año 2050, o sea, dentro de 34 años; 60 % del consumo eléctrico per cápita que poseen ya en la actualidad países como Alemania, Francia, Reino Unido e Italia, los que en promedio tienen hoy un per cápita aproximadamente cinco veces mayor que el de Cuba, o sea, multiplicaremos por tres el actual consumo eléctrico de Cuba hacia el 2050, haciendo una interpolación en los años intermedios 2023 y 2030:

Tabla 2. Estrategia posible de consumo eléctrico en Cuba

Año	2013	2023	2030	2050
GWh/año	16 197	22 000	30 000	50 000

Consumo total de electricidad por sectores

Analicemos el desglose por sectores del consumo total:

El mercado final eléctrico (denominado minoritario) se consume en diversos sectores como: residencial, industrial, comercial, agropecuario, social, transporte, etc. La forma de ordenarlos en los informes estadísticos de distintos países son parecidos pero no necesariamente iguales, como por ejemplo existen, entre otras, variantes como:

Residencial y no residencial.

Residencial, industrial, otros.

Residencial, industrial, comercial, otros.

Residencial, industrial, comercial, agropecuario, transporte, otros.

Tabla 3. Consumo eléctrico por sectores, 2013 (fuente: Anuario Estadístico de Cuba 2013)

Sectores 2013	GWh/año	%
Residencial	7733,5	47,7
Industrial*	3856,7	23,8
Otros	2621,3	16,2
Insumos UNE	1041,6	6,4
Agropecuario, transporte, comercio, construcción	944	5,8
Total	16 197	

**Industria sin insumo eléctrico.*

El industrial constituye un nada despreciable cercano a la cuarta parte del consumo eléctrico nacional, pero como necesidad del desarrollo económico del país debe aumentar sustancial y paulatinamente en el tiempo.

La información disponible en Cuba 2015 es la siguiente:

Tabla 4. Consumo de electricidad por sectores, 2015

Sectores 2015	GWh/año	%
Residencial	8415,3	55,73
Industrial	2517,6	16,7
Comercial	3468,1	23
Agropecuario	457,6	3
Alumbrado público	210,9	1,3
Total en el año	15 069,9	
Generación SEN	19 368,0	

La información por sectores entre la del 2013 y el 2015 no es similar, por lo que se hace difícil comparar 2015 vs. 2013; por ejemplo, en 2015 no aparecen explícitamente insumos UNE, transporte, construcción. Sería necesario hacer la comparación por acápites iguales de los sectores, ya que por ejemplo, no es seguro si realmente el sector industrial disminuyó en el 2015 con relación al 2013.

La estrategia es sumamente compleja, pues en Cuba el consumo residencial en el 2015 constituyó más de 50 % del consumo eléctrico total del país, mientras que el porcentaje en la mayoría de los países es menor de 50 % y en la mayoría de los países desarrollados el residencial es menor de 40 % del consumo total.

Por otro lado, el consumo residencial real en kWh per cápita es mucho menor en Cuba que en dichos países de mayor desarrollo económico, por lo que la estrategia conducente a un mayor bienestar de la población de Cuba implica tener que aumentar también el consumo per cápita, y al mismo tiempo disminuir la componente porcentual residencial del consumo total, lo que implica que la velocidad del crecimiento del consumo no residencial debe ser mayor que el residencial aunque todos deben aumentar en términos absolutos, ruta crítica nada sencilla de definir.

Como ejemplo del comportamiento por sectores en EE.UU., y de que no todos los países ordenan los sectores de consumo eléctrico de la misma forma, veamos la división en los EE.UU. de hace 20 años (1996) de la generada, transmitida y distribuida a los consumidores. En cuatro sectores de uso final: residencial, comercial, industrial y otros.

Residencial: Casas y edificios de apartamentos privados, sobre todo para calefacción de espacio y de agua, aire acondicionado, iluminación, refrigeración, cocina, lavadoras.

Comercial: Que no requieren manufacturación, como hoteles, moteles, restaurantes, negocios al por mayor, tiendas al por menor, instituciones sociales, de salud y de educación.

Industrial: Fábricas, construcción, explotación minera, agricultura, pesca.

Otros: Iluminación pública de calles y carreteras, transporte, municipios, divisiones o agencias del Estado y de gobiernos federales.

Tabla 5. Consumo eléctrico de EE.UU., por sectores, 1996

EE. UU., 1996, sectores	Centavos por kWh	kWh	%	Rentas, USD	%
Residencial	8,36	1 082 491	35	90 501	43
Comercial	7,64	887 425	29	67 827	32
Industrial	4,60	1 030 356	33	47 385	22
Otros	6,91	97 539	3	6741	3
Total	6,86	3 097 810		212 455	

La tabla evidencia que hace 20 años en EE.UU. el residencial era 35% del total, con tarifas más caras que producían 43 % de las rentas (ganancias).

Fotovoltaica (FV)

Es en este complejo escenario que se hace necesario determinar el papel que tendrán las FRE para la consecución del objetivo estratégico planteado. Análisis a realizar por cada una de las distintas FRE, que aunque tributan al mismo objetivo final de aumentar su presencia en el mix, son tecnológicamente distintas con bondades diferentes.

Pasemos al análisis específico de la FV, teniendo en cuenta el estado del arte, el desarrollo temporal y los pronósticos al respecto, entre otros factores.

La instalación mundial FV aproximada ha tenido el comportamiento siguiente:

Tabla 6. Instalación mundial FV

Año	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
MW	1	3	20	50	500	1300	5300	40 000	230 000

El pronóstico para el año 2020 es > 500 000 MW.

En la década del 60 las primeras aplicaciones fueron en satélites.

En los 70 comenzaron aplicaciones terrestres aisladas remotas.

En los 80 se produjo la expansión de aplicaciones autónomas remotas y otros sistemas aislados.

En 1985 se instaló en EE.UU. la primera planta (parque) FV de 5,6 MW.

En los 90 el desarrollo FV se produjo fundamentalmente en techos conectados a red, mientras se producía la moratoria en el desarrollo de parques FV de mayores potencias.

En 1999 se igualó el porcentaje de potencia FV global de las instalaciones conectadas a red, a las remotas aisladas.

A partir del 2000 aumentaron las instalaciones conectadas a red vs. las aisladas, y resurge con mucha fuerza el desarrollo de plantas (parque) FV de mayores potencias.

A la altura del 2004 el predominio era el de las instalaciones conectadas a red y comenzaron las instalaciones de las primeras plantas FV > de 100 MW. Aunque el porcentaje de las remotas aisladas resultaba ya muy pequeño, continuó aumentando en términos absolutos debido al descomunal incremento de la producción total mundial FV.

En el 2014 países como Alemania y Australia pasaban ampliamente del millón de puntos de instalaciones FV conectadas a red, se lograban miles de plantas FV > 4 MW y para el 2014 ya eran 20 plantas (parques) FV que tenían > 100 MW. En el 2015 la mayor planta FV del mundo generaba 579 MW.

Los líderes mundiales en instalaciones FV son 4: EE.UU. hasta 1996, Japón de 1997 a 2003, Alemania de 2004 a 2014 y China a partir de 2015.

Tabla 7. Líderes mundiales

	EE.UU., MW	Japón, MW	Alemania, MW	China, MW	Mundial, MW
1992	43,5	19	2,9		105
1993	50,3	24,3	4,3		130
1994	57,8	31,2	5,6		158
1995	66,8	43,4	6,7		192

1996	76,5	59,6	10,3		309
1997	88,2	91,3	16,5		422
1998	100	133	21,9		566
1999	117	209	30,2		807
2000	139	330	89,4	19	1250
2001	168	453	207	23,5	1615
2002	212	637	324	42	2069
2003	275	860	473	52	2635
2004	376	1132	1139	62	3723
2005	479	1422	2072	70	5112
2006	624	1709	2918	80	6660
2007	831	1919	4195	100	9183
2008	1169	2144	6153	140	15 844
2009	1256	2627	9959	300	23 185
2010	2528	3618	17 372	800	40 336
2011	4383	4914	24 858	3300	70 469
2012	7272	6632	32 462	6800	100 504
2013	12 079	13 599	35 766	19 727	138 856
2014	18 280	23 300	38 200	28 199	178 391
2015	23 500	32 000	40 000	43 500	233 000
2019	58 300	68 300	52 200	112 000	450 000

Generación FV distribuida

Las instalaciones FV en sistemas aislados remotos y las conectadas a red han continuado incrementándose, pero el motor impulsor ha sido la conectada a red con más de 99 % que actualmente se instala cada año. La conectada a red se genera en un amplio espectro de potencias, desde sistemas en techos menores de 1 kWp hasta plantas (parques FV) actualmente de cientos de mWp.

Desarrollo FV por sectores de consumo eléctrico

La incursión FV en todos los sectores ha sido notable; no obstante, la relación táctico-estratégica de las instalaciones dependen mucho de las características de cada país, veamos algunos ejemplos:

Tabla 8. Características de las instalaciones FV en algunos países

2013 País	MW instalados	% suelo	% techos
Europa	35 000	28	72
Italia	16 250	12	88
Japón	15 000	10	90
Australia	4100	8	92

Es necesario aclarar que el promedio de 72 % de la FV en techos y cubiertas en Europa son todos en sectores principalmente «del lado del cliente», y se desglosaba en:

Residencial: 21 %

Industrial: 19 %

Comercial: 32 %

Es decir, el residencial era solo de 21% mientras que el industrial más el comercial constituía 51 % en techos y cubiertas del lado del cliente.

De la tabla se deduce también que el porcentaje en suelo promedio de toda Europa era mayor que el de Alemania e Italia.

Por su parte, Australia es el país con el mayor porcentaje mundial de instalaciones en techos del sector residencial, con cerca actualmente de 1 500 000 (millón y medio) de techos residenciales conectados a red, y un promedio de 2,5 kWp por instalación FV.

Es muy importante recalcar que el costo del kWh que paga el cliente en la mayoría de los países es alto, mientras que en Australia es de unos unos 30 centavos de usd, lo que hace muy atractiva la inversión por parte del cliente en ese país con buena radiación solar.

Desarrollo de los parques en suelo

EE.UU. es otro ejemplo del aumento de las instalaciones FV en parques FV; veamos el gráfico de las adiciones anuales FV del 2008 al 2014 en EE.UU. por sectores: *utility* (del 100% inyección a red), comercial y residencial.

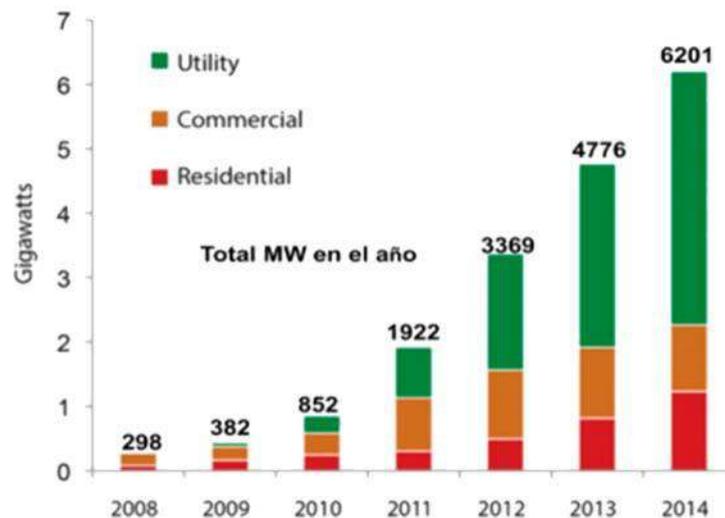


Fig. 1. Gráfico de las adiciones anuales FV de 2008 a 2014 en E.E.U.U., por sectores.

En 2014 en EE.UU. se adicionaron 6.2 gWp FV: aprox. 1 gWp residencial, 1 gWp comercial y unos 4 gWp en parques FV.

En los últimos 10 años el número y la potencia han crecido notablemente; veamos la situación acumulada en plantas FV > 4 MW a mediados del 2015:

Tabla 9. Número y potencia acumulada en plantas FV > 4 MW

	País	Número de plantas	Capacidad MW
1	China	370	11,965
2	E.E.U.U.	618	10,548

3	Reino Unido	463	4,136
4	Alemania	307	3,641
5	India	254	3,241
6	España	178	1,527
7	Japón	81	1,443
8	Canadá	114	1,378
9	Francia	128	1,321
10	Sudáfrica	26	1,013
11	Tailandia	81	994
12	Italia	93	941
13	Chile	15	740
14	Ucrania	20	500
15	Rumania	20	296
16	Honduras	7	283
17	Israel	25	249
18	Filipinas	19	245
		2836	45 105

Promedio de unos 16 MW por planta.

En desarrollo están 1154 plantas que suman 51 500 MW para un promedio de 44 MW por planta FV, lo que evidencia la continuación del incremento de potencia por planta.

En China a finales de 2015, 86 % de las instalaciones FV eran en plantas FV.

Veamos la potencia de las plantas FV mayores del mundo en distintos años:

Tabla 10. Potencia de las plantas FV mayores del mundo

Año	Nombre de la planta	País	MW
1982	Lugo	EE.UU.	1
1985	Carrisa Plain	EE.UU.	5,6
2005	Bavaria Solar Park	Alemania	6,3
2006	Erlasee Solar Park	Alemania	11,4
2008	Olmedilla FV Park	España	60
2010	Sarnia FV Power Plant	Canadá	97
2011	Golmud Solar Park	China	200
2012	Aguas Calientes Solar	EE.UU.	290
2014	Toaz Solar Farm	EE.UU.	550
2015	Solar Star	EE.UU.	579

Nótese el bache producido en 20 años, del 1985 al 2005, aspecto que en otros artículos hemos explicado por qué el incremento de parques contribuyó al aumento de la potencia FV total instalada. El número de países con más de 1000 MW se fue incrementando a partir de la década después del año 2000:

Del 2004 al 2007 fueron Japón y Alemania.

En 2008 se sumaron España y EE.UU.

2009 Italia.

2010 República Checa, Francia y Bélgica.

2011 Australia y China.

2012 Reino Unido, Grecia, India, Sur Corea y Bulgaria.

2013 Canadá y Rumania.

2014 Suiza y Holanda.

2015 Suráfrica.

Para un total de 21 países en dic. 2015 con más de 1000 MW FV.

Tabla 11. Desarrollo FV mundial

	MW		MW		MW
China	43 000	Australia	5000	Rep. Checa	2175
Alemania	40 000	España	5400	Canadá	2000
Japón	32 000	India	4000	Rumania	1250
EE.UU.	23 500	Bélgica	3100	Sudáfrica	1200
Italia	19 000	Surcorea	3000	Holanda	1150
Reino Unido	6500	Grecia	2560	Suiza	1100
Francia	6000	Tailandia	2500	Bulgaria	1025

El desarrollo FV mundial crece en un amplio espectro de potencias, con la tendencia de aumentar la potencia promedio por instalación FV, debido fundamentalmente a la disminución del costo FV en la medida en que las instalaciones son de mayor potencia.

Costos del kWh FV:

Recordemos cómo se calcula el costo del kWh FV (Conocido como costo nivelado):

Costo (kWh)= [Costo inicial + Tasas de préstamos + O-M + Tax al inversionista – Valor residual] / kWh/kWp

Donde:

En el costo se suman los costos iniciales de: módulos, inversor, estructura, inicial, cableado y obra civil; otros préstamos suman financiamientos por: costos de capital, créditos, tasas, intereses, tasas de descuento O-MSE suman.

Costos posteriores al inicial por: operación, mantenimiento, salarios; otros taxes restan pagos del inversionista por: impuestos, ganancias, permisos, inversionistas y arrendamientos.

En el valor se restan costos por reutilización, recuperación, reciclajes de partes de la residual e instalación FV al final de la vida útil del sistema FV.

En cuanto a horas pico totales, para Cuba tomamos 1360 horas x 25 años = 34000 horas

Costos por sectores: ejemplos

1. Costos del kWh eléctrico de distintas fuentes, en instalaciones FV en parques y techos por distintos sectores de consumo eléctrico:

Tabla 12. Costos del kWh eléctrico de distintas fuentes, en instalaciones FV en parques y techos en distintos sectores de consumo eléctrico

Centavos de USD/kWh	Instalaciones FV en:
De 5,8 a 7	Parques FV
De 7,8 a 13,6	Techos sociales
De 10,9 a 19,3	Techos en industrias y comercios
De 18,4 a 30	Techos residenciales

Fuente: Levelized Cost of Energy Analysis version 9.0., November 17, 2015, Latest annual study by US Investment Bank Lazard.

2. Precios en USD/Wp de sistemas FV en algunos países en el 2013.

Tabla 13. Precios en USD/Wp de sistemas FV en algunos países en el 2013

	Australia	China	Francia	Alemania	Italia	Japón	Reino Unido	EE.UU.
Residencial	1,8	1,5	4,1	2,4	2,8	4,2	2,8	4,91
Comercial	1,7	1,4	2,7	1,8	1,9	3,6	2,4	4,51
Utility	2,0	1,4	2,2	1,4	1,5	2,9	1,9	3,31
Res/Utility	0,9	1,07	1,86	1,71	1,86	1,45	1,5	1,5

Fuente: IEA, Technology Roadmap: solar photovoltaic energy report, Sept. 2014. U.S.

De la tabla se desprende que los costos más baratos son los de los parques FV (*utilities*). Sería válido también para Australia si tuviera los costos *utility* de China, Alemania o Italia.

3. Veamos los costos más recientes FV residenciales para Australia de nov. 2015, para distintas potencias entre 1,5 y 10 kWp.

Tabla 14. Costos más recientes FV residenciales para Australia

	1,5 kW	2 kW	3 kW	4 kW	5 kW	10 kW
Promedio usd/W	\$ 2,22	\$ 1,91	\$ 1,63	\$ 1,54	\$ 1,44	\$ 1,42

Otra vez se cumple la tendencia mundial de disminución de los costos FV con el aumento de la potencia de las instalaciones, inclusive dentro del sector residencial.

4. Costos de sistemas FV en USD por Wp instalado en octubre 2014.

Tabla 14. Costos de sistemas FV en USD por Wp instalado, Chile y Alemania, 2014

	1 kWp	10 kWp	30 kWp	100 kWp	500 kWp	1000 Wp
Chile	3,53	2,58	2,34	2,09	2,04	1,88
Alemania	2,21	2	1,94	1,68	1,47	1,32

Continúa cumpliéndose que a más potencia menor costo FV.

5. Disminución del costo por pago en PPA en parques FV de EE.UU. en centavos de USD por kWh FV generado entre 2009 y 2015.

Tabla 15. Disminución del costo por pago en PPA en parques FV de EE.UU

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	En centavos de USD por kWh						
Máximo	39,4	27	16,6	14,9	10,4	8,6	7
Mínimo	32,3	22,6	14,8	10,1	9,1	7,2	5,8

6. Los records actuales de pagos más bajos por PPA son:

Fuente: *Levelized Cost of Energy Analysis version 9.0. nov. 17, 2015. Latest annual study by US Investment Bank Lazard.*

En centavos de usd por kWh:

Chile: 6,5

India: 7,1

En EE.UU.:

Boulder Solar Nevada 4,6

Subasta Austin, Texas < 4

Planta Playa Solar Nevada 3,87

Estos costos bajos en EE.UU. se logran mediante convenios PPA en los que se exime al inversionista de sus pagos por diferentes impuestos (tax).

Para Cuba hemos defendido el criterio de no pagar más de 10 centavos de USD por kWh en contratos de PPA (ver otros artículos al respecto).

El incentivo del cliente residencial

La principal motivación del cliente residencial para financiar sus instalaciones FV es la disminución del costo nivelado que logra por kWh FV contra lo que paga por tarifa eléctrica del kWh a la empresa eléctrica, o sea, mientras más alta sea esta tarifa, más atractiva es la opción del cliente residencial.

Veamos promedios de pago del kWh en distintos países para el sector residencial (que por lo general son las más altas de las tarifas eléctricas).

Tabla 16. Tarifas promedio para el sector residencial en distintos países (centavos de USD por kWh, año 2012)

	> 40 cents USD/kWh
Puerto Rico	47,65
Dinamarca	40,52
Alemania	40,25
	> 30 cents usd/kWh
Hawai	38,08
Irlanda	33,22

Italia	31,98
Granada	31,74
Bélgica	30,6
Australia	30
	> 25 cents usd/kWh
Barbados	29,88
Portugal	29,36
España	28,27
Suecia	28,26
Uruguay	28,26
Austria	27,84
Holanda	26,46
El Salvador	26,28
Brasil	26,14
Chile	26
	> 20 cents usd/kWh
Inglaterra	24,81
Noruega	24,51
Guatemala	23,86
Guyana	23,73
Grecia	23,43

Belice	22,30
Francia	21,92

En la inmensa mayoría de los países, actualmente, el costo del kWh FV es menor que los precios de sus tarifas eléctricas residenciales, excepto en lugares de gran subvención estatal del kWh del mix, por ejemplo: Cuba y México.

El caso de Cuba

La tarifa residencial en Cuba se paga en moneda nacional cup, para el cliente el cambio de Cup a Cuc es de 24 x 1; si tomamos como equivalencia aproximada que 1 usd = 1 Cuc, entonces el cliente residencial en Cuba paga por consumos de kWh al mes lo siguiente en centavos de USD equivalentes por cada kWh:

Tabla 17. Pago del sector residencial por consumo de kWh al mes, Cuba

kWh / mes	Hasta 100	de 101 a 150	de 151 a 200	de 201 a 250	de 251 a 300	de 301 a 350
Centavos usd/kWh	Menos de 1 cents USD/kWh			Menos de 2 cents USD/kWh		
	0,38	0,67	0,92	1,25	1,59	2,25
kWh/ mes	de 251 a 300	de 301 a 350	de 351 a 500	de 501 a 1000	de 1001 a 5000	> 5000
Centavos usd/kWh	1,59	2,25	3,84	6,09	11,25	20,84

Evidentemente, para promover las instalaciones FV residenciales en Cuba se pierde el incentivo del financiamiento por el propio cliente, teniéndose que acudir a una subvención por el Estado de grandes erogaciones en moneda libremente convertible.

Las subvenciones son mucho más recomendables aplicarlas en las instalaciones y sectores que promuevan las producciones para el desarrollo económico y social del país, en las que a su vez se hace más factible el cofinanciamiento por parte de las industrias, comercios y otros sectores.

El incremento de las instalaciones FV en Cuba

Comencemos por metas finales: ¿podríamos plantearnos para el 2050 aproximadamente lo siguiente para Cuba en la FV?

Tabla 18. Proyecciones FV en Cuba, 2050

Aplicaciones en:	Número de conexiones	MW	GWh/ año
Parques: promedio 2 MW por parque	500	6000	8000
Techos: promedio kW por instalación	500 000	2000	3000
Totales	500 000	8000	12 000

¿Parecen muchos unos 500 000 puntos FV conectados a red para el 2050?

La experiencia actual en muchos países responde dicha pregunta, por ejemplo, hoy Australia y Alemania tienen alrededor de millón y medio de puntos FV conectados a red cada uno.

¿Cuánta electricidad debería disponer Cuba?

Después de lograrse la disminución a prácticamente cero despilfarros y máxima eficiencia, hace falta energía eléctrica para:

Aumentar la industrialización.

Un mayor desarrollo agropecuario.

Recibir mayor turismo.

Una mayor calidad de vida, entre otros aspectos.

La tarea es compleja, difícil de resolver, pero hay que afrontarla. En este contexto hay que definir el papel de las FRE, y en nuestro análisis específico de la FV.

Sector residencial

Podemos concluir con respecto a las instalaciones en el sector residencial en Cuba, lo siguiente:

Esta alternativa es sumamente importante, pero por las características señaladas anteriormente se puede concluir que no es el momento de la

residencial FV en Cuba, aunque sí lo debe ser en un futuro. Resumamos los pros y contras con respecto a las características del residencial:

En pro:

Disminución de las pérdidas por transmisión y distribución.

Generación muy distribuida.

Disminución de calor en los pisos superiores de edificios y viviendas.

En contra:

Aumento del costo por Wp instalado.

Mayor costo del Wp FV en función de menor potencia instalada.

Sustancial mayor costo del inversor.

Poca motivación del cliente residencial cuando paga poco por tarifa eléctrica altamente subvencionada (caso de Cuba).

Mayores atenciones y costos por impermeabilización de techos.

Aporta menos a la magnitud del costo evitado fósil por la pequeña potencia de las instalaciones.

La planeación, documentación, permisos etc. se complica por el gran número de proyectos FV residenciales.

La FV y el desarrollo económico del país

Las instalaciones FV como necesidad del desarrollo económico del país deben aumentar sustancial y paulatinamente a mediano y largo plazos. Se propone:

Tabla 19. Propuesta del Autor para el desarrollo FV en Cuba

Año	2023	2030	2050
GWh/año	22 000	30 000	50 000
MW FV/año	700	2000	8000
GWh/año FV	952	3000	12 000
% FV del MIX	4,3	10	24

Los GWh FV generados en el año se repartirían en industrias, comercios, entidades sociales de todo tipo, de consumo preferentemente diurno con una gran dosis de autoconsumo, por lo que la inyección a red sería mucho más pequeña, lo que favorecería una mejor gestión de despacho eléctrico para mantener la estabilidad de la red en tensión y frecuencia.

Desde el punto de vista de costos de los sistemas FV, el comercial se comporta entre los costos de parques y los del residencial.

Los elementos a favor de las instalaciones industriales son:

Priorizar las de consumo más bien diurno.

Contar con una zona inmediata al sur aledaña a las edificaciones de la industria, apropiada para la instalación FV.

La residencial tiene a su favor que puede ser la más distribuida, pero el aporte de mayor potencia eléctrica inyectada a la red está en parques y grandes instalaciones FV industriales y comerciales. Por ejemplo, en un futuro lejano si llegamos a tener una gran red FV distribuida por todo el país, en la que el promedio para los parques y mayores instalaciones en potencia sea de 12 MW por instalación (recalcamos que es promedio), y que el promedio para el residencial y otras instalaciones más pequeñas sea de 3 kWp, entonces por cada parque conectado a red habría 4000 puntos de conexión a red residencial.

Todos los sectores, tanto en parques como los del lado del cliente (industrial, comercial, residencial, social) son importantes, pero es necesario analizar la situación en cada país para establecer una ruta crítica de desarrollo de acuerdo con la rápida evolución que ha tenido la FV. En este sentido es muy correcto el desarrollo de instalaciones de parques FV lo más distribuido geográficamente y cerca de los consumos posibles.

Las instalaciones FV en el sector industrial puede en mayor medida contribuir al financiamiento de las instalaciones FV (ver los otros trabajos que hemos elaborado al respecto). Las potencias pueden estar en un amplio rango, del orden de la de los parques FV, pero también algo menores (como de unos 100 kWp en adelante); de priorizarse en generación diurna, puede contribuir a una curva de carga más extendida en horas de sol. Le siguen las instalaciones comerciales y sociales también más bien de consumo diurno, en los que las potencias necesarias continúan disminuyendo. Para todos sectores de consumo las instalaciones pueden ser en techos, cubiertas y suelos de diversas dimensiones.

Para el residencial las potencias de cada instalación son las más pequeñas y más caras por Wp, prácticamente todas en techos; para su promoción habría que resolver primero la motivación del cliente para acometer

económicamente la instalación, y el monto de las subvenciones que por parte del Estado se podrían asumir.

Sin duda, para los parques FV, en el caso de los sectores industrial y comercial es más factible promover el entendimiento de la necesidad del aporte FV para la generación eléctrica en periodos de corto, mediano y largo plazos, tarea que se hace necesario acometer desde ahora en base al costo fósil evitado.

Grandes clientes

Es recomendable priorizar la política de instalaciones FV comenzando por lugares de mayor consumo eléctrico diurno, promoviendo a la vez la mayor distribución en número y dispersión geográfica posible.

Relación de grandes clientes de consumo diurno:

Acueductos.

Frigoríficos.

Siderurgias.

Extracciones mineras.

Fábricas e industrias con horarios diurnos.

Materiales de construcción.

Hoteles.

Hospitales

Escuelas.

Bancos.

Universidades.

Ministerios.

Empresas.

Centros de Investigaciones.

Comercios de atención diurna.

Oficinas de atención al público

Cooperativas de trabajo diurno.

Cuentapropistas.

Recalcamos el papel de la FV en función del desarrollo económico del país, sobre todo industrias y comercios. Por ejemplo, del Ministerio de Industrias:

Textil, tenería, calzado y talabartería. Papel, cartón, poligráfica.
Fertilizantes, herbicidas, plaguicidas. Gases industriales, medicinales.
Plástico, vidrio. Jabonería, perfumería, pinturas, barnices. Neumáticos, Envases y embalajes. Muebles. Reciclaje. Otros.

De los grupos empresariales de industrias:

Ligera, sidero-mecánica, química, deportiva, otras.

También: Azcuba, Mitrans: Talleres (Reparación de locomotoras); Minag:

Fábricas de pienso; Micons: Obras marítimas; Minal: procesadoras de alimentos; Mincin: frigoríficos; Minem: refinerías, otros.

Ejemplos concretos

Siderurgia

Producir acero en horno de arco eléctrico requiere unos 440 kWh de electricidad por ton. métrica. La energía mínima requerida para fundir una tonelada de chatarra es de 300 kWh (punto de fusión 1520 °C). Para 500 000 ton se necesitan 220 GWh, unos 150 MW para hacer por FV.

El tiempo en que el acero se funde con un arco es de unos 37 minutos, por lo que la fabricación de acero con arco eléctrico es solo rentable donde hay electricidad abundante y barata.

Antillana de acero, Acinox.

Frigoríficos

Existen más de 40 en el Mincin.

Acueductos

En el país hay más de 3000 equipos de bombeo, de <50 kW a > 200 kW que consumen en total cerca de 700 GWh /año y admite en autoconsumo, sin contar lo que puede inyectar a la red > 460 MW FV.

Conclusiones

Tabla 20. Posible variante de estrategia para el consumo eléctrico del país

Años	2013	2023	2030	2050
Consumo nacional GWh	16 197	22 000	30 000	40 000
Consumo industrial GWh	3856,7	5500	9000	14 000

% industrial / nacional	23	25	30	35
Consumo residencial GWh	7733,5	9900	13 500	16 000
% residencial vs. nacional	47,7	45	45	40
Consumo no residencial GWh*	8463	12 100	16 500	24 000
% no residencial vs. nacional	52, 3	55	55	60
Potencia FV MW/año	-	700	2 000	8000
Generación energía FV anual GWh	-	952	3 000	12 000
% electricidad FV vs. total del mix	-	4,3	10	30

** El país necesita aumentar paulatinamente la generación y el consumo de electricidad en función del desarrollo económico y social del país, y sobre esa base se debe trazar la estrategia de acrecentar el papel de las FRE.*

La economía de escala ha sido el gran éxito de la FV, mientras mayores son las potencias de las instalaciones FV se hace más barata la generación del kWh FV.

Es necesario definir por dónde empezar el desarrollo FV de acuerdo con un análisis integral, teniendo en cuenta las condiciones concretas del país.

El número de proyectos FV residenciales es miles de veces mayor que los de plantas (parques) FV. Muchas pequeñas potencias suman poco, mientras que pocas grandes potencias suman mucho, que propician más costo evitado fósil.

Las instalaciones residenciales no son atractivas al cliente que paga muy poco por kWh de la tarifa del mix, con gran subvención del Estado, caso de Cuba.

La electricidad vía FV puede tributar al aumento del PIB industrial.

El abaratamiento FV continuará y mayor será el costo evitado fósil, lo que propiciará aún más el aumento de las instalaciones FV.

La promoción del consumo eléctrico diurno puede realizarse en industrias:

Existentes: industrias de mayor consumo diurno.

Transferibles: posibles acomodados de horarios.

Nuevas: requisitos FV en nuevas inversiones.

Se deben comenzar las instalaciones FV en:

1. Parques.
2. Industrias (incluye turismo).
3. Comercios.

Cofinanciar es una bondad para las instalaciones del lado del cliente. No es el momento para la FV residencial, se debe aplazar para un futuro más conveniente con mayor financiamiento por parte del cliente residencial.

Ponerse de acuerdo en el cofinanciamiento de las instalaciones FV es más factible con grandes clientes no residenciales: industria, comercio, etc.

Tratar de hacer las instalaciones FV al sur de fábricas, comercios y otras edificaciones simplifican las estructuras soportes de los módulos FV, ya que rompen los fuertes vientos del norte que son los dañinos.

Para finalizar veamos un buen ejemplo en:

H.G. Wells, Lenin y la electricidad que «Sí se pudo»:

H.G. Wells, reconocido autor de: *La máquina del tiempo* (1895), *La isla del doctor Moreau* (1896), *El hombre invisible* (1897), *La guerra de los mundos* (1898), *Ana Verónica* (Ana Verónica (1909)).

El perfil de la historia (1919), *La conspiración abierta* (1922), *El destino del homo sapiens* (1939), *La mente a la orilla del abismo* (1945) entre otros. Se reunió con Lenin en el año 1921, quien le expuso a Wells el plan de electrificación general GOELRÓ (abreviación rusa de la Comisión Estatal para la Electrificación de Rusia), para la recuperación y el desarrollo económico nacional, aprobado en diciembre de 1920 en el VIII Congreso de los Sóviets , en ese entonces Lenin declaró:

«El comunismo es el poder soviético más la electrificación de todo el país, ya que la industria no puede desarrollarse sin electrificación».

Posteriormente, Wells en su publicación «Rusia en las sombras» (*Russia in the Shadows*, publicado en 1921) dedicado a su entrevista con Lenin, opinó lo siguiente sobre dichos planes:

«El hecho es que Lenin, que como un verdadero marxista niega todo lo «utópico» al final cayó en una utopía extrema, la utopía de la electrificación (...) ¿Puede alguien imaginar un proyecto más atrevido en este país de vastas llanuras y bosques, habitados por campesinos iletrados, privados de fuentes de agua y energía, gente que no tiene conocimientos sobre tecnología, en zonas donde el comercio y la industria están casi extintos? Estos proyectos de electrificación actualmente se llevan a cabo en Holanda y se discuten en Inglaterra, y uno puede imaginar fácilmente que en estos

países densamente poblados e industrias altamente desarrolladas, la electrificación será exitosa, rentable y beneficiosa en general. Pero este tipo de proyectos en Rusia se pueden ver como una superfantasia (...)».

En aquel momento Lenin pidió a Wells que visitara Rusia dentro de 10 años para verificar si se habían obtenido logros con el plan, debido a que estaba previsto finalizarlo en ese transcurso (entre 10-15 años). Wells llegó a la Unión Soviética en 1934 (mucho después de la muerte de Lenin), y dijo que se vio totalmente sorprendido al observar el hecho de que los planes de Lenin no solamente se habían cumplido, sino que las expectativas sobre los logros habían sido superadas.

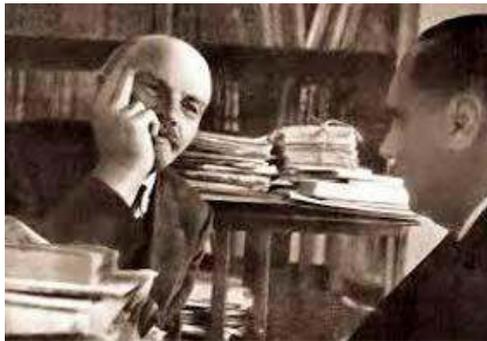


Fig. 2. Entrevista de Wells con Lenin

En la URSS, entre 1920 y 1935 la generación eléctrica en GWh se multiplicó cincuenta y seis veces.

Bibliografía

ANDERSON, HOKE, REBECCA BUTLER, JOSHUA HAMBRICK Y BENJAMIN KROPOSKI (s/a). *Maximun Photovoltaic Penetration Levels on Typical Distribution Feeders. IEEE Transactions on sustainable energy.*

BACKHAUS, SCOTT Y MICHAEL CHERTKOV (2013). *Getting a grip on the electrical grip.* Stargard Szczecinski. Physics today.

Cuando la única energía es el Sol. (Estado del arte fotovoltaico, de 90 pág. y 224 referencias bibliográficas) (1992). Publicado por la universidad politécnica de Madrid.

Decisiones que abrieron las puertas a las fuentes de energías renovables en Cuba (2008). En revista *Energía y Tú* No. 52. La Habana: Ed. Cubasolar, oct.-dic. «Definición del marco profesional de instaladores fotovoltaicos y desarrollo de la metodología de formación» (s/a). Realizado por Epia, junio, revisado sep., *contract* No.: lee/09/928/Si2.558379.

«Definición del marco profesional de instaladores fotovoltaicos y desarrollo de la metodología de formación» (s/a). Realizado por Epia, junio, revisado sep., *contract* No.: lee/09/928/Si2.558379.

«Dos sabias decisiones sobre generación eléctrica distribuida» (2012). En *Juventud técnica*. La Habana: Ed. Abril, en soporte electrónico.

EPIA, EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION (2014). *Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018*. Gaëtan Masson (Icares Consulting), Sinead Orlandi, Manoël Rekinger.

EPIA, EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION (2014). *Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018*. Gaëtan Masson (Icares Consulting), Sinead Orlandi, Manoël Rekinger.

«Estado actual y perspectiva de la energía fotovoltaica» (1993). En Revista Cubana de Física, vol. 13, No. 1, pág. 5-70. (Único artículo que cubre la revista completa).

FRAUNHOFER-INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS (ISE) (2015). «Current and future cost of photovoltaics long-term scenarios for market development, system prices and LCOE of utility-scale PV systems study».

FRAUNHOFER-INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS (ISE) (2015). «Current and future cost of photovoltaics long-term scenarios for market development, system prices and LCOE of utility-scale PV systems study».

«Future of photovoltaic materials and all-thin-film devices» (1994). *American Institute of Physics Conference Proceedings 378. Surfaces, Vacuum and their applications*, pág. 363-367, Cancún, México.

Global market outlook for photovoltaics (2013-2017). European Photovoltaic Industry Association.

GOYENECHÉ ROJAS, PATRICIO (2014). *Reporte ERNC Resumen 2014. ERNC en Chile*. Año del despegue. CIFES, Chile.

ILF CONSULTING ENGINEERS (2014). *Large Scale Photovoltaic/Diesel Hybrid Systems*. Renewable Energy Forum, Hannover Messe, 09.04.2014.

ILF CONSULTING ENGINEERS (2014). *Large Scale Photovoltaic/Diesel Hybrid Systems*. Renewable Energy Forum, Hannover Messe, 09.04.2014.

IRENA (2015). *Renewable Energy Prospects: United States of America, Remap 2030 Analysis*. Irena, Abu Dhabi. January 2015.

IRENA (2015). *Renewable Power Generation Costs in 2014*. Irena, January 2015.

KUMAR, T. KRANTHI, RATNARAJU Y APPARAO (2011). *Power-management strategies for a grid-connected PV-FC hybrid systems*. International journal of scientific & engineering research, volume 2, ISSUE 12, December-2011.

«La energía FV: Oportunidad y necesidad para Cuba» (2014). En Revista económica y desarrollo, No. 2, jul.-dic.

STOLIK, DANIEL (2011). «Necesidad de un programa fotovoltaico para Cuba». Argumentos hacia la producción y utilización creciente de sistemas solares fotovoltaicos en el país. En revista *Energía y Tú*, La Habana: Ed. Cubasolar, No. 53, ene.-mar.

STOLIK, DANIEL (2012). «100 preguntas y respuestas sobre la energía FV, primera parte», En revista *Energía y Tú*, La Habana: Ed. Cubasolar, No. 58, abr.-jun.

STOLIK, DANIEL (2012). «100 preguntas y respuestas sobre la energía FV, segunda parte». En revista *Energía y Tú*, La Habana: Ed. Cubasolar, No. 59, jul.-sep.

STOLIK, DANIEL (2014). «La penetración de la energía fotovoltaica». En revista *Energía y Tú*, La Habana: Ed. Cubasolar, No. 65, ene.-mar.

STOLIK, DANIEL (2014). «La FV vs. ciclones». En revista *Energía y Tú*, La Habana: Ed. Cubasolar, No. 69, oct.-dic.

STOLIK, DANIEL (2015). «La FV en el 2014». En revista *Energía y Tú*, La Habana: Ed. Cubasolar, No. 70, ene.-mar., 2015.

LORENZO, E., J. MARCOS Y L. MARROYO (s/a). *El fotovoltaico y la calidad del servicio eléctrico*:

MARTEN, FRANK Y FRAUENHOFER IWES (s/a). *German perspectives on future energy system challenges by photovoltaic*.

ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA (OLADE) (2013). «La tarifa social de la energía en América Latina y el Caribe». Mercedes Canese. «*Perspectivas y retos científico-técnicos-productivos de América Latina y el Caribe para el desarrollo de la energía fotovoltaica*» (s/a). Revista Mexicana de física S 59 (2) 56-65.

PHILIPPS, SIMON P., CHRISTOPH KOST Y THOMAS SCHLEGL (2014). *UP-TO-DATE Levelised cost of electricity of photovoltaics background from fraunhofer ise relating to IPCC WGIII 5th assessment*. Final draft, septiembre, 2014.

Reactive power and grid integration with sunny mini central and sunny tripower (s/a). Technical information, version 1.0.

«Solar energy conversion perspectives» (1993). Proceedings of the international workshop on optoelectronic materials and their application. P. 71-83 (idioma inglés). Febrero, 1993.

Statistical Review of World Energy (2013). La energía en 2012, adaptarse a un mundo cambiante.

Technology Roadmap Solar photovoltaic Energy (2014). International Energy Agency. Edition. IEA.

«Thermally stimulated current studies on Cds polycrystalline thin films» (1994). American Institute of Physics conference. Proceedings 378. Surfaces, vacuum and their applications, P. 193-197, Cancún, México, septiembre, 1994.

YIP, ANDREW (2013). *Pacific gas and electric company (PG&E). PG&E High penetration solar PV current status and research*

Ambiente térmico y visual interior. Caso de estudio.

Thermal and visual environment inside. Case of study

Por Dra. Arq. Dania González Couret,
Arq. Elizabeth Rodríguez García*,
Arq. Nataly González Milián* y Arq. Mónica Llovet Salazar*
* Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría (Ispjae). La Habana.
e-mail: dania@arquitectura.cujae.edu.cu*

Resumen

Está demostrado que los edificios pueden generar toda la energía que consumen, e incluso más, si están adecuadamente diseñados y aprovechan las fuentes renovables de energía disponibles. En los climas cálidos y húmedos como el de Cuba, la protección de los edificios con respecto a la radiación solar incidente, resulta decisiva para el logro de ambientes interiores más confortables que permitan reducir el consumo de energía en climatización e iluminación artificiales. El artículo expone parte de los resultados de una investigación realizada con vistas a mejorar la sustentabilidad de la Universidad de las Ciencias Informáticas en La Habana, en la cual se hizo una evaluación cualitativa y cuantitativa de los tres edificios más consumidores de energía, y se propusieron posibles soluciones que con un mínimo de inversión permitieran mejorar el ambiente térmico y visual interior, y por tanto reducir su consumo energético. Para ello, se efectuaron mediciones simultáneas de temperatura y humedad relativa del aire interior con respecto a un exterior a la sombra, y el impacto positivo de las transformaciones propuestas fue verificado mediante simulación automatizada de los resultados y su comparación con la situación de partida.

Palabras clave: Ambiente térmico y visual interior; evaluación cualitativa y cuantitativa; protección solar; transformación de la envolvente arquitectónica

Abstract

It is established that buildings can generate all the energy they consume and even more, if they are adequately designed and take advantage of renewable sources of energy available. In humid and warm climates like in Cuba, the protection of buildings regarding incident solar radiation is of vital importance for the achievement of more comfortable inner environments that enable reducing energy consumption in air conditioning and artificial lighting. The article shows part of the findings obtained in order to improve

the sustentabilidad of the University of the Information-Technology Sciences in Havana, where a qualitative and quantitative evaluation of the three more energy consuming buildings was done in, and possible solutions with a minimum investment for improving thermal environment and visual inside, and therefore reducing its energy consumption. For it, simultaneous measurements of temperature and inside relative air humidity compared to the outside in the shade, and the positive impact of the proposed transformations was verified by means of automated simulation of the results and its comparison with the starting situation.

Keywords: Thermal environment and visual inside, qualitative and quantitative evaluation, solar protection, transformation of the architectonic envelope

Introducción

Las ciudades ocupan 2% de la superficie del planeta y contribuyen en más de 70% a la economía mundial, pero a la vez, son responsables de más de 60% del consumo de energía, 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero, y 70% de los residuos producidos a escala global [ONU Hábitat, 2016]. No obstante, está demostrado que los edificios pueden generar toda la energía que consumen, e inclusive más si están adecuadamente diseñados y aprovechan las fuentes renovables de energía disponibles [Mazria, 2012], lo cual es ya una meta concreta a alcanzar que la Unión Europea, por ejemplo, se ha propuesto para el 2020 [Montesdeoca, 2011].

Una buena parte de la energía que se consume en los edificios se emplea en el acondicionamiento térmico y la iluminación artificial de los espacios interiores, la cual puede reducirse en hasta un 30% con soluciones apropiadas de diseño arquitectónico [Gago *et al.*, 2013], que se adecuen al contexto y el clima, para aprovechar al máximo de forma pasiva los recursos disponibles.

Particularmente en los climas cálidos y húmedos como el de Cuba, la protección de los edificios (tanto la envolvente exterior como los espacios interiores) con respecto a la radiación solar incidente, resulta decisiva para el logro de ambientes interiores más confortables que permitan reducir el consumo de energía en climatización e iluminación artificial. Un buen diseño arquitectónico ha de tener en cuenta la orientación del edificio y la sombra arrojada por el contexto, para complementar la protección mediante el auto-sombreado que pueda ofrecer la propia volumetría arquitectónica, así como mediante elementos adosados o vegetación.

Esto evitaría que las superficies de los cierres exteriores se calienten por efecto de la incidencia de la radiación solar, generando un flujo térmico

hacia el espacio interior, que será mayor en la medida en que se incremente la diferencia de temperaturas entre las superficies exteriores e interiores de la envolvente expuesta. Por otro lado, la protección de las ventanas con respecto a la radiación solar directa no sólo reportaría beneficios térmicos, sino contribuiría a evitar el deslumbramiento y mejorar la uniformidad de la iluminación natural interior [González Couret, 1997], con lo cual puede reducirse el consumo innecesario de energía en iluminación artificial diurna.

Es por ello imprescindible considerar en el diseño y la evaluación de la protección solar en las edificaciones, su efecto en la reducción de la carga térmica y por tanto, en el consumo de energía, pero a la vez, verificar la reducción de los niveles de iluminación natural que ésta genera, con vistas a buscar las mejores soluciones desde el punto de vista integral. Esto adquiere una mayor importancia, incluso, en los edificios con climatización artificial.

En una investigación realizada con vistas a mejorar la sustentabilidad de la Universidad de las Ciencias Informáticas en La Habana [González Milián *et al.*, 2014], se hizo una evaluación cualitativa y cuantitativa de los tres edificios más consumidores de energía y se propusieron posibles soluciones que con un mínimo de inversión permitieran mejorar el ambiente térmico y visual interior, y por tanto, reducir su consumo energético. En el presente artículo se exponen los resultados de ese trabajo.

Materiales y métodos

Como casos de estudio fueron escogidos los edificios docentes Nos. 3, 5 y 6 (Figs. 1, 2 y 3), a partir de las encuestas y entrevistas realizadas a estudiantes, profesores y trabajadores de la Universidad de las Ciencias Informáticas. A cada uno de los edificios seleccionados se les realizó primero una evaluación cualitativa, aplicando un método desarrollado en investigaciones precedentes [González Couret *et al.*, 2015] que considera la solución volumétrica, espacial y la envolvente del edificio a partir de diversos parámetros sobre los cuales se ofrecen indicadores de referencia (Tabla 1).



Fig. 1. Edificio Docente No.3. Universidad de las Ciencias Informáticas



Fig. 2. Edificio Docente No.5. Universidad de las Ciencias Informáticas



Fig. 3. Edificio Docente No.6. Universidad de las Ciencias Informáticas.

Tabla 1. Variables de diseño y parámetros considerados en el enfoque metodológico propuesto para evaluar las soluciones arquitectónicas desde el punto de vista bioclimático

Variables de diseño		Parámetros
Volumen		Geometría
		Compacidad
		Porosidad
		Esbeltez
		Tersura
Espacio		Geometría
		Volumen y proporciones
		Compartimentación Conexión

Envolvente	Techos	Forma y orientación
		Dimensiones
		Materiales
		Superficies exteriores
	Paredes	Orientación
		Dimensiones
		Materiales
		Superficies exteriores
		Dispositivos de protección solar
	Ventanas	Orientación
		Ubicación y proporciones
		Dimensiones
		Tipo
		Materiales
Dispositivos de protección solar		

La comparación de los indicadores de la solución de diseño estimados para cada uno de los edificios seleccionados como casos de estudio, con los rangos de valores de referencia ofrecidos por el método, permitió identificar sus principales problemas, arribar a una evaluación cualitativa preliminar de su comportamiento probable y seleccionar espacios interiores para realizar mediciones de temperatura y humedad interior, con vistas a verificar los resultados de la evaluación cualitativa.

En cada uno de los edificios evaluados se seleccionaron dos espacios de aulas, en los cuales se efectuaron durante seis días mediciones simultáneas de temperatura y humedad relativa del aire interior con

respecto a un exterior a la sombra, en los meses de marzo, abril y mayo de 2013, empleando equipos Data Loggers tipo HOBO.

En el edificio 3, donde todas las aulas presentaban la misma orientación hacia el norte- noreste, se seleccionaron el aula 302 en una posición intermedia, y la 310, en un extremo del volumen y por tanto, con tres paredes exteriores expuestas, particularmente una pared sin ventanas orientada al oeste, que constituye la «culata» del edificio. Ambas se encuentran en pisos intermedios. Los edificios 5 y 6 son muy similares, y de hecho fueron proyectados por la misma arquitecta, sólo que con orientaciones opuestas, ya que una solución es la reflexión especular en planta de la otra. En el edificio 5 se escogieron el aula 301 orientada al noreste y la 308 orientada al suroeste, ambas en el piso más alto del edificio y por tanto, con la cubierta directamente expuesta a la radiación solar, mientras que en el edificio 6 las mediciones se realizaron en las aulas 206 orientada al noreste y la 203 al suroeste, pero ambas en un piso intermedio (segundo), sin la ganancia térmica que significa la cubierta expuesta al sol.

En la tercera etapa de la investigación se elaboraron propuestas de intervención que con mínimas inversiones permitieran mejorar el comportamiento térmico y visual de los edificios evaluados, a partir de los resultados cualitativos obtenidos en la primera etapa y las mediciones de temperatura realizadas posteriormente. El impacto positivo de las transformaciones propuestas fue verificado mediante simulación automatizada de los resultados y su comparación con la situación de partida, también simulada. Para ello se realizó una evaluación comparativa entre los dos software empleados (*Energy Plus* y *Ecotec 2013*) y de los resultados obtenidos en la simulación, y en las mediciones de algunas de las aulas seleccionadas como caso de estudio. Finalmente, el *Energy Plus* fue empleado para la simulación del ambiente térmico probable como resultado de las transformaciones propuestas, mientras que las condiciones de iluminación natural resultantes fueron obtenidas mediante el *Ecotec 2013*.

Resultados y discusión

Evaluación cualitativa de las soluciones arquitectónicas

Edificio 3 (Fig. 4)

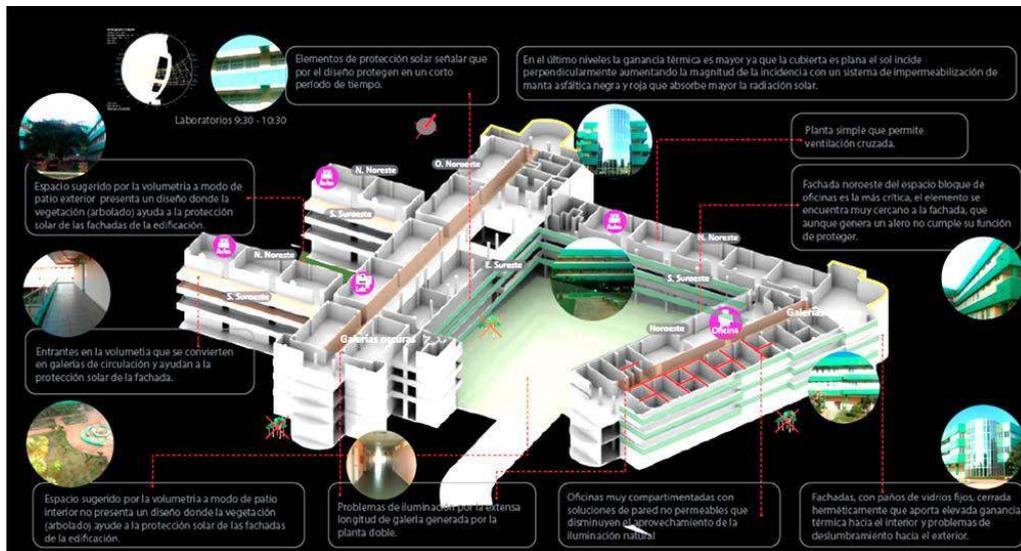


Fig. 4. Resumen de la evaluación cualitativa del edificio 3.

El volumen edificado presenta un índice de compacidad de 0,42, lo cual indica que es relativamente elevada la proporción de cierres exteriores expuestos a la radiación solar. Su composición en retícula está formada por cinco volúmenes, tres de aulas con planta simple (aulas a un solo lado del corredor de circulación), uno de laboratorios y uno de oficinas, ambos con planta doble (corredor central de circulación), por lo cual los espacios de función principal (aulas, laboratorios y oficinas) tienen diversas orientaciones, y aunque todas las fachadas poseen elementos de protección solar en forma de bandas horizontales continuas, estos no se adecuan a los requerimientos de cada orientación y resultan insuficientes. Esto se expresa en el indicador de tersura de las fachadas, con valor medio en algunos volúmenes de aulas (0,5) y laboratorios (0,64), y alto en los restantes de aulas y oficinas (0,8). La situación se agrava en las oficinas orientadas al oeste, y por otro lado, el espacio exterior sugerido por el volumen carece de vegetación.

La porosidad de los volúmenes con respecto al viento es variable, media en los volúmenes de aulas con galería de circulación abierta en uno de los laterales, mayor en el de planta libre, y baja en el volumen de oficinas con galería central de circulación semi-abierta.

Aunque de manera general la proporción de área de vanos con respecto a la superficie de piso es superior a 0,2, las ventanas de vidrio sin protección

afectan el ambiente térmico y la visual interior al permitir la entrada de la radiación solar directa, y las hojas de corredera dificultan la ventilación natural en las aulas. Por otra parte, la planta doble en los laboratorios y la compartimentación espacial en las oficinas limitan la iluminación natural.

Edificios 5 y 6 (Figs. 5 y 6)

Los edificios 5 y 6 parten de un mismo diseño, compuesto por tres volúmenes dedicados a aulas, laboratorios y oficinas. Este último fue repetido en el edificio 6, cuya ejecución no se concluyó.

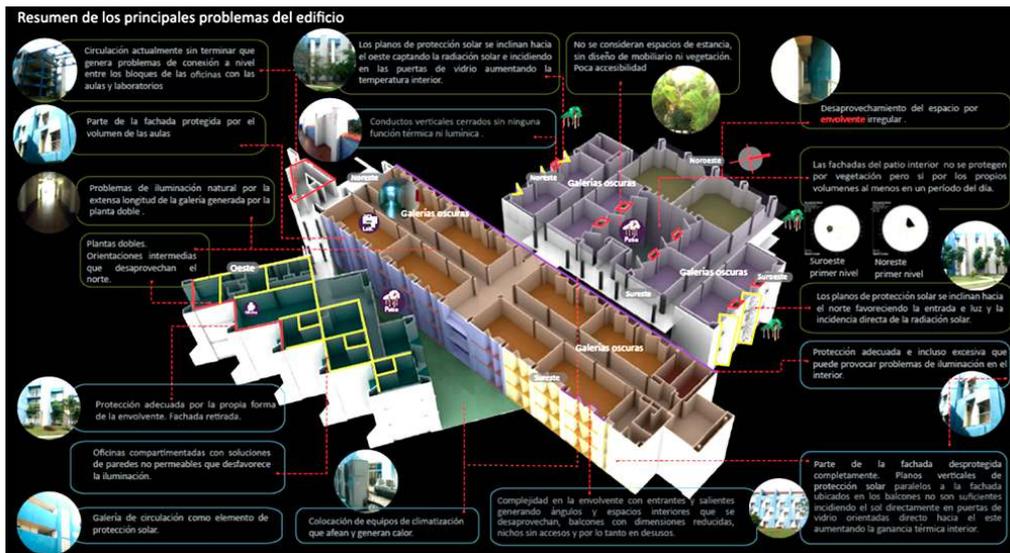


Fig. 5. Resumen de la evaluación cualitativa del edificio 5.

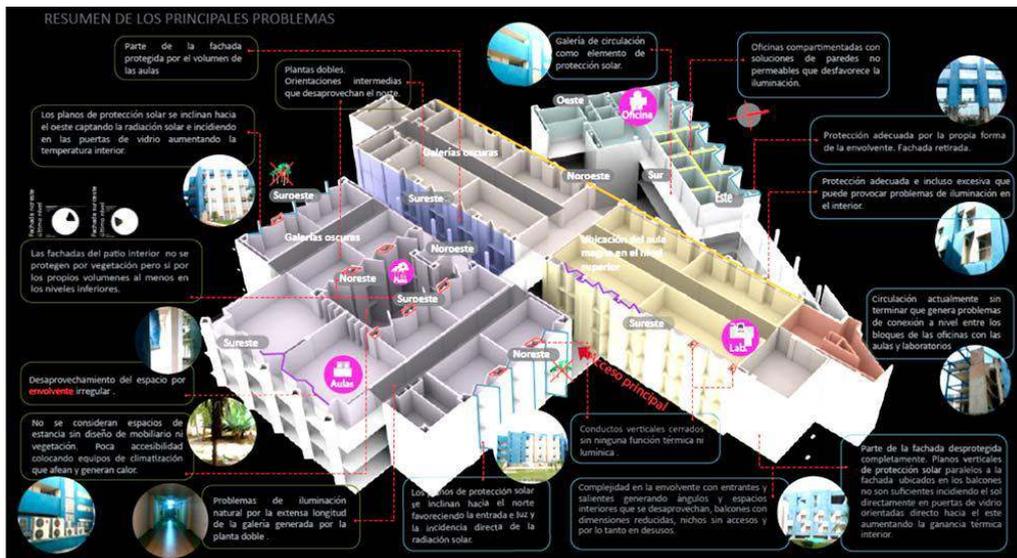


Fig. 6. Resumen de la evaluación cualitativa del edificio 6.

La geometría se articula por galerías de circulación. El volumen de las aulas combina la tipología de patio y simple con pasillo lateral; el de oficinas incluye planta simple y doble, lo cual condiciona la diversidad de orientaciones de los espacios. La porosidad es baja en las oficinas y media en las aulas y laboratorios, donde aparecen unos conductos verticales que no cumplen ninguna función térmica ni de iluminación. La tersura es media en las aulas (0,67) y los laboratorios (0,7), y alta en las oficinas (0,9), lo cual indica una mayor exposición de éstas a la radiación solar. Así mismo, el volumen de oficinas presenta una compacidad media de 0,56, y por tanto una mayor proporción de cierres exteriores expuestos que el volumen alargado de laboratorios con compacidad de 0,7, o el de aulas (0,64) con patio interior.

Todos los volúmenes presentan orientaciones intermedias y diversas, manteniendo iguales soluciones de diseño de fachada en orientaciones opuestas. Por otra parte, las oficinas se orientan al sur con la galería de circulación al norte, con lo cual se desaprovechan sus posibilidades de protección solar al sur.

Análisis comparativo de software y mediciones

Para la simulación automatizada se emplearon los programas Ecotec y *Energy Plus* con su interfaz gráfica hacia el *Open Studio*. El primero permite simular el ambiente térmico y luminoso, a partir de un modelo desarrollado en el propio programa que permite visualizar los resultados de la simulación. El segundo es un programa profesional reconocido a escala internacional que ofrece mayor precisión en el análisis térmico, y su interfaz gráfica al *Open Studio* permite el uso de *Sketch Up*, muy utilizado en Cuba para la elaboración de modelos 3D.

Los valores de temperatura simulados mediante el empleo de ambos programas fueron comparados entre sí y con los resultados de las mediciones de los valores reales de temperatura medidos en cada espacio, que son superiores a los simulados, mientras que la simulación ofrece una mayor amplitud de oscilación de los valores de las temperaturas. La gráfica de la figura 7 muestra las temperaturas exteriores medidas en el punto de referencia para el aula 302 del edificio 3 en diferentes horarios del día 1ro de mayo, y a los valores de temperatura exterior simulados para ese mismo día con Ecotec y con *Energy Plus*.

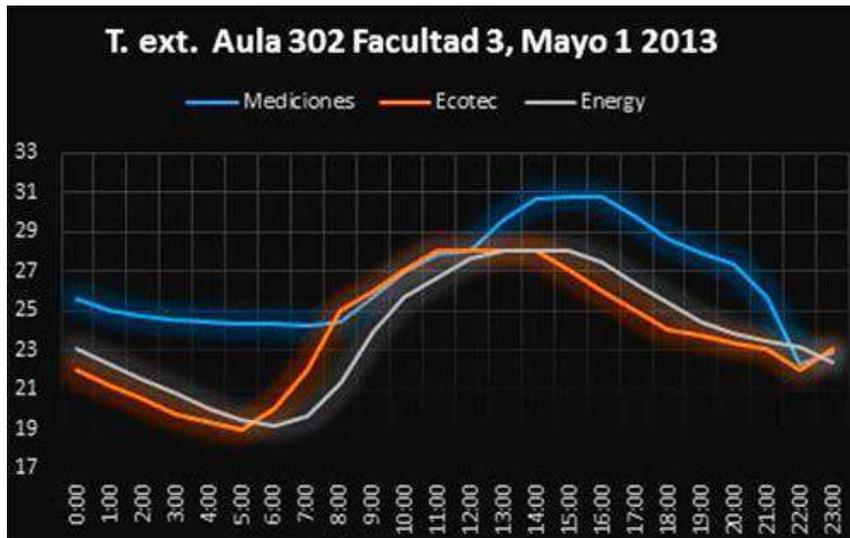


Fig. 7. Comparación entre las temperaturas exteriores medidas en el punto de referencia para el aula 302 del edificio 3 el 1ro de mayo y los valores de temperatura exterior simulados para ese mismo día con Ecotec y con Energy Plus

Por otra parte, prácticamente no existe diferencia entre las temperaturas interiores y exteriores simuladas con el Ecotec (Fig. 8), que minimiza la influencia arquitectónica en el ambiente interior, donde las temperaturas del aire son generalmente superiores, como puede apreciarse en los resultados de las mediciones graficados en la figura 9.

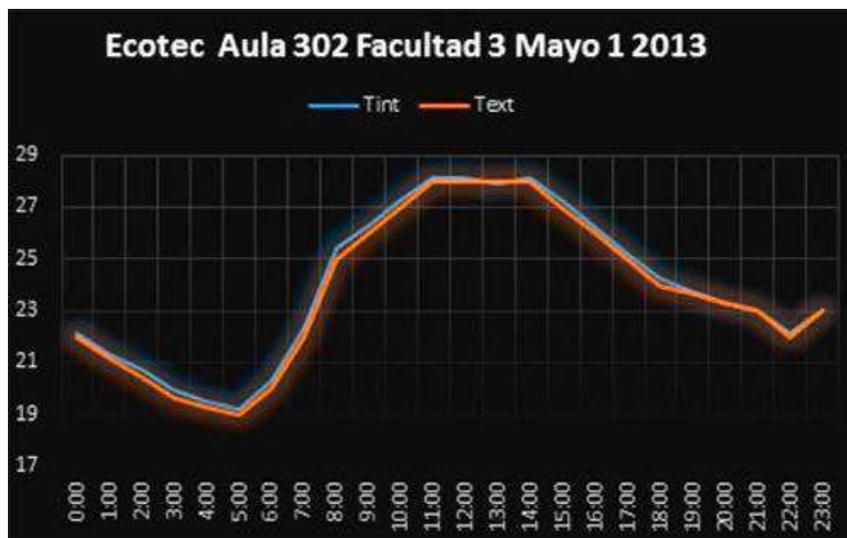


Fig. 8. Temperaturas interiores y exteriores simuladas con Ecotec.

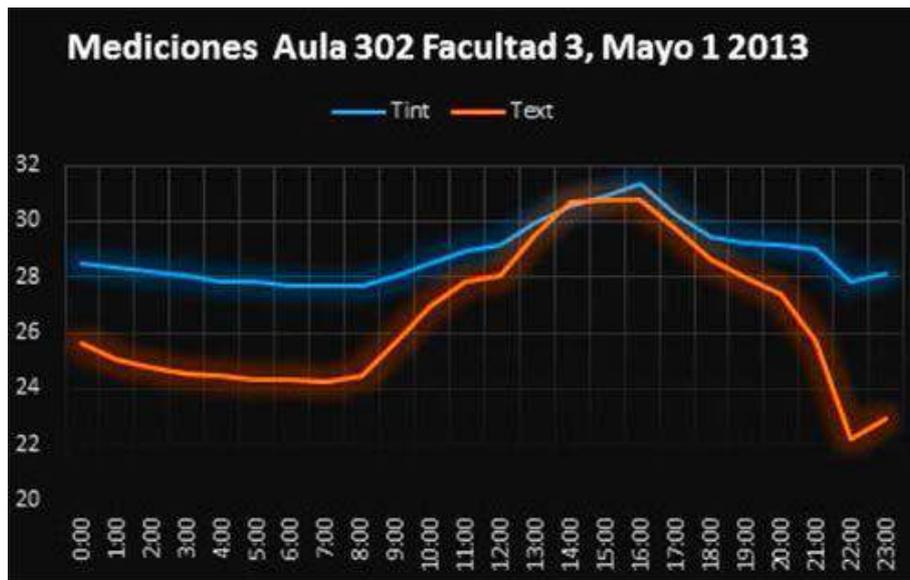


Fig. 9. Temperaturas interiores y exteriores medidas en el aula 302 del edificio 3 el 1ro de mayo.

Por el contrario, la simulación realizada con el Energy Plus sí refleja una diferencia considerable entre la temperatura interior y exterior (Figura 10), de manera que aunque es mayor que la resultante de las mediciones reales, los resultados son más confiables (Fig. 11).

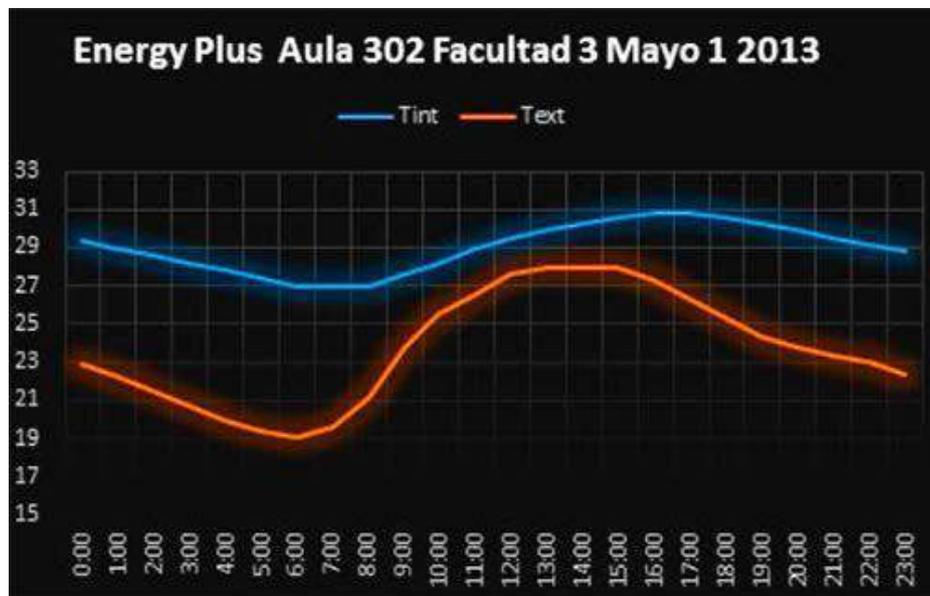


Fig. 10. Temperaturas interiores y exteriores simuladas con Energy Plus



Fig. 11. Comparación entre la diferencia de temperaturas ($t_i - t_e$) medidas y simuladas con Ecotec y con Energy Plus.

Resultados de las mediciones. Discusión

A pesar de que la temperatura interior es siempre superior a la exterior, se comprueba que es aún mayor durante el día (de 9.00 a.m. a 5.00 p.m.) en el aula del extremo del edificio 3 (310) con una pared expuesta al oeste, donde la diferencia llega a ser de hasta 10C (Fig. 12).



Fig. 12. Temperatura del aire en las aulas 302 (intermedia) y 310 (extrema) del edificio 3 con respecto a la referencia exterior.

Como ambas aulas se encuentran en el piso superior, la influencia en el ambiente térmico interior de la cubierta expuesta se verificó mediante la simulación automatizada de las temperaturas interiores en los laboratorios sin climatizar del edificio 3, orientados al oeste–noroeste, tanto en la planta baja como en la alta, el día 5 de mayo. Aunque la diferencia de temperatura no es notable, en la planta alta se alcanzan valores ligeramente superiores durante el día, que llegan a 0,5 °C a las 2.00 p.m. (Fig. 13).



Fig. 13. Diferencia de las temperaturas simuladas en laboratorios orientados al ONO en la planta alta con respecto a la planta baja.

También se pudo verificar que en el aula orientada al suroeste en el edificio 5, la temperatura interior es superior a la medida en el aula orientada al noreste (Fig. 14). La diferencia de temperatura interior con respecto a la exterior en el aula orientada al noroeste es generalmente el doble que la del noreste.

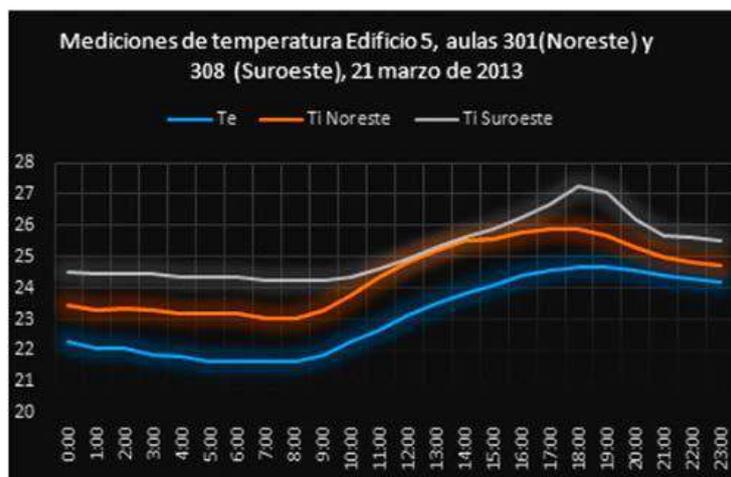


Fig. 14. Temperaturas medidas en el aula 301 orientada el noreste y el aula 308 orientada el noroeste en el edificio 5.

Esto fue ratificado con los resultados de las mediciones realizadas en las aulas del edificio 6, donde las temperaturas son muy similares durante la mañana, pero en la tarde el aula orientada al suroeste se hace más caliente que la orientada al noreste (Fig. 15), diferencia que alcanza los 2,5 °C a las 7.00 p.m.

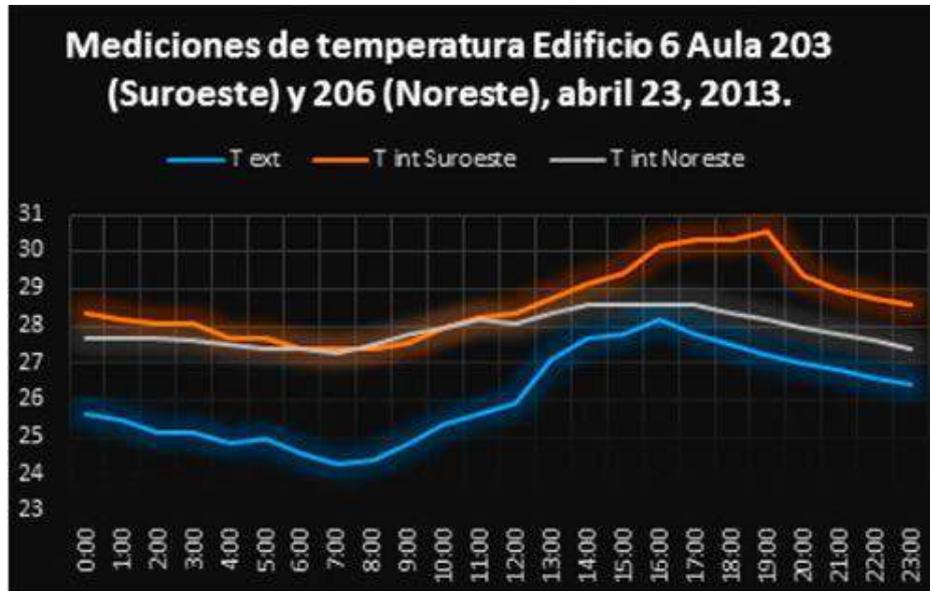


Fig. 15. Temperaturas medidas en el aula 203 orientada el suroeste y el aula 308 orientada el noreste en el edificio 6.

Propuestas de transformación. Simulación del impacto

Para cada problema detectado en el análisis cualitativo y cuantitativo del edificio se definieron posibles soluciones, económicas y fáciles de ejecutar. En cuanto al ambiente térmico, los principales problemas se deben a la presencia de elementos de control solar que no responden a los requerimientos de cada orientación, de manera que solo arrojan sombra durante un período de tiempo.

Por tanto, en las fachadas orientadas hacia el noroeste, norte-noroeste, sureste y este-sureste que no están protegidas por vegetación, el sol incide directamente en las ventanas de vidrio, contribuyendo a elevar la temperatura interior de los espacios, y para evitar eso se propuso modificar los elementos de protección solar.

En el edificio 3 estos elementos constituyen planos horizontales paralelos a la fachada, separados a 1, 65 m de la misma, que dejan pasar el sol por la abertura que existe entre el elemento y la fachada (Fig. 16).



Fig. 16. Elementos de protección solar existentes en el edificio 3.

Una posible transformación pudiera ser la inclusión de jardineras con vegetación en las vigas de soporte de los elementos de protección solar, y una malla (de sogas de henequén, nylon, cables recuperados de las instalaciones o metálica) para generar un plano horizontal de sombra (Fig. 17). Un efecto similar podría lograrse colocando planos horizontales en las aberturas (sólidos, mallas o textiles), o elementos permeables a modo de *louvers* que tamicen el paso de la luz solar.

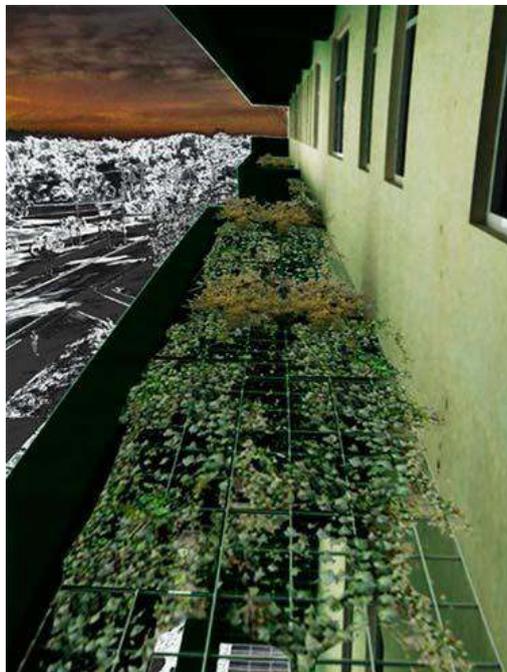


Fig. 17. Modificación propuesta a la protección solar del edificio 3.

La adición de vegetación constituye la variante más económica, cuyo impacto en la temperatura interior fue simulado para dos espacios de laboratorio, uno orientado al ONO y otro al ESE el 5 de mayo. Como puede observarse en la figura 18, las condiciones térmicas mejoran durante todo el día, al reducirse la temperatura radiante en valores que llegan a ser superiores a 1 °C al mediodía.

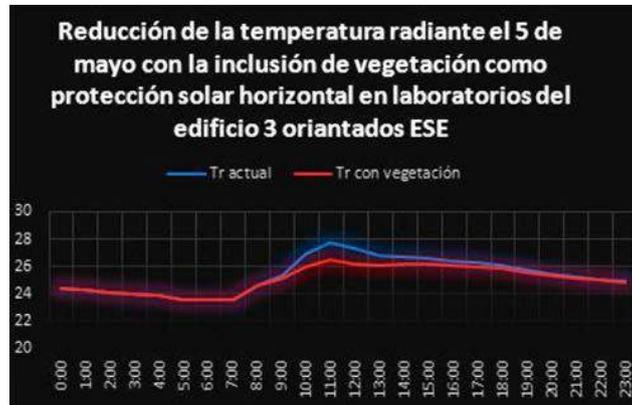


Fig. 18. Temperatura radiante simulada en los laboratorios orientados al ESE en el edificio 3, con los elementos de protección solar originales y modificados.

De todos modos, la protección solar propuesta, como puede verse en la máscara de sombra (Fig. 19), es solo efectiva al mediodía, por lo que sería recomendable complementarla con elementos de protección móviles como toldos para proteger del sol bajo de la tarde y la mañana en ambas orientaciones. Se propone que el elemento complementario a la vegetación sea móvil, por la afectación que puede ocasionar a la iluminación, de manera que solo se use cuando resulte imprescindible, por ejemplo, en el ESE durante la mañana y en el ONO por la tarde.

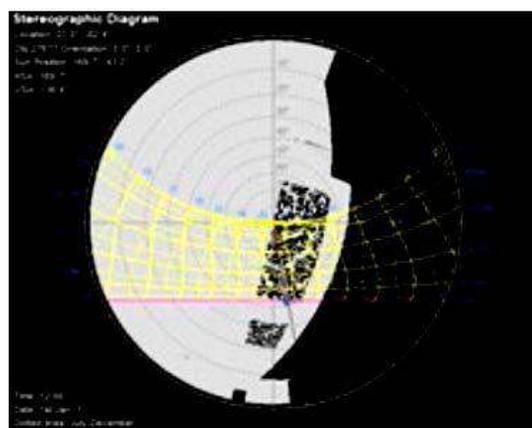


Fig. 19. Máscara de sombra de los elementos de protección solar con la vegetación añadida en la fachada OSO del edificio 3.

Por esta razón se evaluó la influencia en la iluminación natural interior de la vegetación incorporada en la fachada ESE mediante simulación automatizada con el Ecotec 2013 (Fig. 20). Se pudo apreciar que las condiciones de iluminación casi no varían con la inclusión de la protección solar horizontal verde, y mejora la uniformidad, que es aún insuficiente, por lo que habría que complementar con iluminación artificial en la zona más alejada de las ventanas, para lo cual habría que cambiar la distribución de las luminarias que hoy se encuentran perpendiculares a la fachada, por líneas paralelas a la pared exterior, cuyo encendido pueda ser controlado de forma independiente.

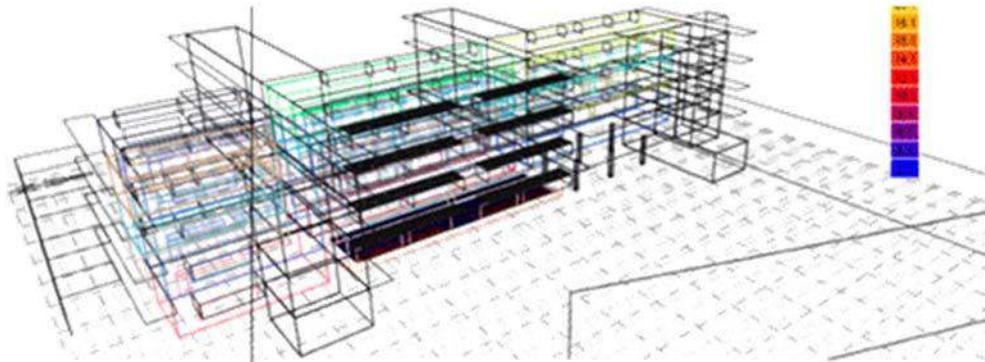


Fig. 20. Simulación de iluminación de los laboratorios de la fachada ESE del edificio 3 con la envolvente transformada.

El problema más grave detectado en el Edificio 5 se presenta en los espacios orientados al suroeste, donde por razones formales los elementos que debían proteger del sol se orientan hacia el oeste y captan la radiación solar que incide en las puertas de vidrio de los balcones.

Es posible proteger de la radiación solar esta fachada incorporando arbolado en los alrededores. Otra solución sería el cierre parcial del balcón con elementos que permitan la entrada de luz, pero que al mismo tiempo generen sombra.

Algunas de las posibles soluciones de cierre podrían lograrse a través de un plano paralelo a la fachada a modo de toldo, cuya altura de protección pueda ser regulada según el horario, o mediante la inclusión de canteros con plantas que trepen por una estructura adicional (de sogas de henequén, nailon, cables recuperados de las instalaciones o metálica), o que cuelguen en los balcones, así como la incorporación de elementos de protección solar en forma de tablillas (fijas o móviles) con el ángulo de inclinación requerido para la protección (Fig. 21).



Fig. 21. Transformaciones propuestas para la protección solar de la fachada suroeste del edificio 5.

Se pudo comprobar, mediante la simulación automatizada, que los valores de la temperatura radiante en todos los casos se reducen en el espacio interior cuya envolvente ha sido transformada. En la figura 22 puede apreciarse la diferencia de temperaturas en las aulas del primer nivel del edificio 5 orientadas al SO, simuladas para el 21 de marzo. La máxima diferencia se produce casi a las 6.00 p.m. y es de aproximadamente 2 °C.



Fig. 22. Temperatura radiante simulada en las aulas del primer nivel del edificio 5 orientadas al suroeste, con la envolvente original y modificada.

Algo similar ocurre en las aulas del último nivel, donde la cubierta queda expuesta a la radiación solar y se ha adicionado una doble cubierta verde que arroja sombra. En la figura 23 se aprecia que la reducción de la temperatura radiante es ligeramente superior a la que se produce en el primer nivel.



Fig. 23. Temperatura radiante simulada en las aulas del último nivel del edificio 5 orientadas al suroeste, con la envolvente original y modificada.

Como el aumento de la protección solar puede representar una obstrucción adicional para la iluminación natural, se verificaron los niveles de iluminación interior mediante la simulación en Ecotec del factor de día en las aulas de la planta baja del edificio 5 orientadas al SO, antes y después de transformada la envolvente. Se pudo comprobar que los requerimientos de iluminación natural interior no se cumplen en ningún caso y que la uniformidad es de 0,14, muy inferior a la requerida de 0,6 (NC 1005:2014). Como era de esperar, en la solución transformada se reducen los valores de e. max, pero mejora la uniformidad (Fig. 24), de manera que igualmente se hace necesario recurrir a la iluminación artificial como complemento de la natural. Esa solución se repite en la fachada del patio interior del volumen de aulas que presenta la misma orientación. El primer y el segundo nivel se protegen parcialmente por la propia volumetría y la vegetación existente en esta área.



Fig. 25. Vegetación como elemento de protección en la fachada suroeste del edificio 6.

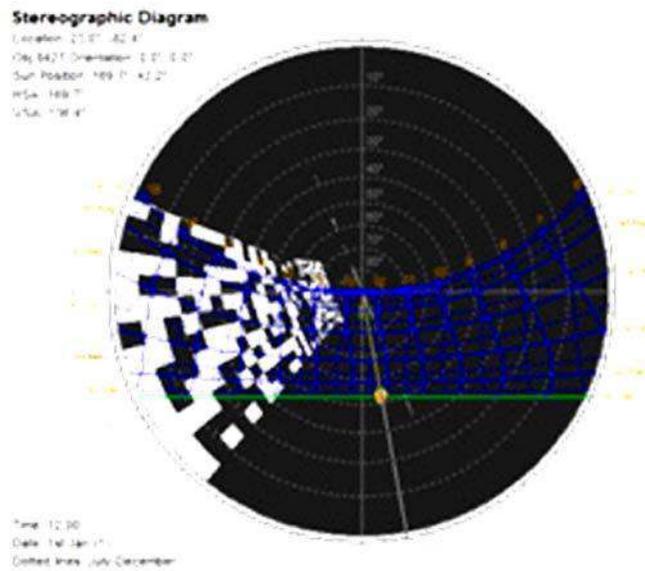


Fig. 26. Máscara de sombra de la fachada suroeste de las aulas del edificio 6 con la incorporación de las jardineras.

Los valores de temperatura radiante obtenidos en la simulación son en todos los casos menores que en la situación original. En la figura 27 se muestra la diferencia de la temperatura en las aulas del primer nivel del edificio 6 orientadas al SO, simuladas para el 22 de abril antes y después

de la transformación de la envolvente. La máxima diferencia, de aproximadamente 2 °C, se produce casi a las 6.00 p.m.



Fig. 27. Temperatura radiante simulada en las aulas del primer nivel del edificio 6 orientadas al suroeste, con la envolvente original y transformada.

Como en los casos anteriores, la simulación de las condiciones de iluminación natural interior demuestra que no se cumplen los niveles de iluminación ni la uniformidad requeridos, a pesar de que esta última mejora con la transformación propuesta (Fig. 28), por lo que también en este caso será necesario usar como complemento la iluminación artificial.

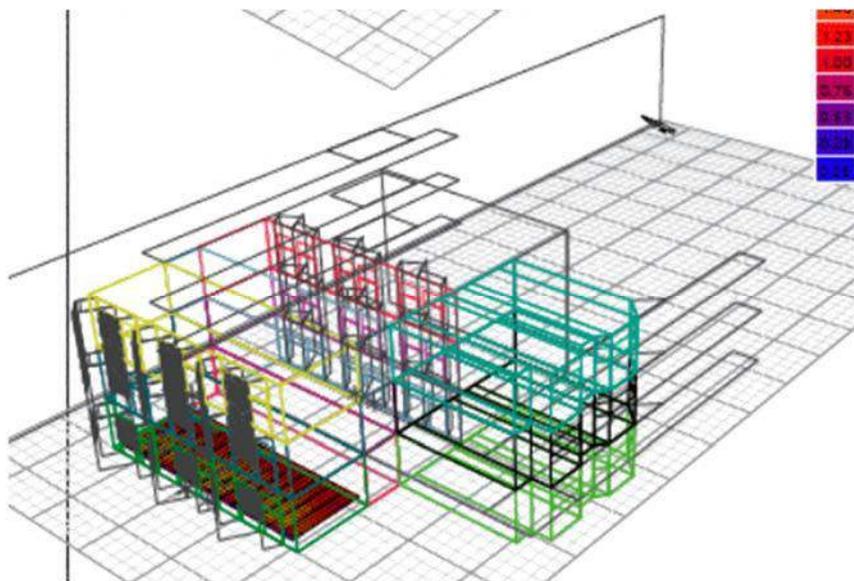


Fig. 28. Simulación de iluminación de las aulas de la fachada suroeste del edificio 6 con la envolvente transformada.

Las aulas con orientación suroeste que tributan al patio interior en el primer y segundo nivel, quedan parcialmente protegidas por la propia volumetría, pero aunque en menor grado también penetra la radiación solar, por lo que se propone la misma solución de protección.

Conclusiones

Los resultados de la investigación empírica corroboran la evaluación cualitativa integral realizada en tres edificios de la Universidad de las Ciencias Informáticas a partir de la aplicación de un procedimiento elaborado en investigaciones precedentes.

Se comprueba que existe una relación directa entre la temperatura en los espacios interiores y el grado de exposición al sol de la envolvente arquitectónica, resultando más favorables los espacios intermedios.

También se verifica la importancia de la orientación, siendo más desfavorable el entorno oeste.

Los problemas más graves en los edificios evaluados se derivan de no haber tenido en cuenta los requerimientos de cada orientación en el diseño de la envolvente arquitectónica.

Se demuestra que es posible reducir la temperatura en los espacios interiores con modificaciones de la envolvente que no requieren de costosas inversiones, si se aprovechan los beneficios de la sombra verde.

Para incrementar la protección solar sin afectar excesivamente la iluminación natural, es posible complementarla con elementos móviles que puedan ser accionados según los requerimientos temporales.

La protección solar mejora la uniformidad, pero reduce ligeramente los niveles de iluminación interior, por lo cual la luz natural deberá complementarse con iluminación artificial en las zonas más alejadas de las ventanas, cuyo encendido pueda ser controlado de forma independiente.

Referencias

- GAGO E. J., J. ROLDAN, R. PACHECO – TORRES, J. ORDOÑEZ (2013). *The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013; 25:749 – 758.
- GONZÁLEZ COURET, DANIA (1997). *Economía y calidad en la vivienda. Un enfoque cubano*. Editorial Científico Técnica, La Habana, 1997.
- GONZÁLEZ COURET, DANIA; LUIS ALBERTO RUEDA GUZMÁN; NATALY GONZÁLEZ MILIÁN, ELIZABETH RODRÍGUEZ GARCÍA Y MÓNICA LLOVET SALAZAR (2015). «Evaluación cualitativa de la influencia del diseño arquitectónico en el

ambiente interior», *Arquitectura y Urbanismo* vol. XXXVI, no 3, 2015, La Habana, pp. 53 – 66.

GONZÁLEZ MILIÁN, NATALY, ELIZABETH RODRÍGUEZ GARCÍA, MÓNICA LLOVET SALAZAR Y DANIA GONZÁLEZ COURET (2014). «Por una Universidad de las Ciencias Informáticas más sustentable», *Arquitectura y Urbanismo* vol. XXXV, no 3, 2014, La Habana, pp. 104 - 113.

MAZRIA, EDWARD (2012). «Clean Energy: The Future is now». *World Renewable Energy Forum*, American Solar Energy Society, Denver, 2012.

MONTESDEOCA CALDERÍN, MANUEL (2012). «Edificios de energía casi nula: Una realidad inminente». *Curso de Arquitectura Sostenible*. Unión Europea, Gran Canaria, 2012, pp. 66 – 71.

ONN (2004). Edificaciones – Requisitos para el cálculo de la Iluminación Natural. NC 1005:2004.

ONU (2016). Hábitat: Hábitat III. www.habitat3.org, 15 de febrero, 2016.

**Tecnología de riego con secano favorecido.
Estudio de caso**

**Technology of irrigation with favored
dry region. Case study**

Por Ing. Héctor Moreno Guerra,
Ing. Raidel Vidal González*Colaboradores:
Ing. Danay Duque Abreu
Ing. Yamila RecioRodríguez
Lic. Yudisleydi Laurencio Gómez
Campesino Pluvio de Armas*Centro
Integrado de Tecnología del Agua (Cita), Inrh, Cuba.
e-mail: hector@cita.hidro.cu, raidel@cita.hidro.cu, danay@cita.hidro.cu*

Resumen

El riego en la agricultura es una condición imprescindible para numerosos cultivos, pero con relación a los cuidados que debemos tener con el uso del agua y su influencia en los rendimientos agrícolas, es necesario tener presente el cambio climático. Su agravamiento en estos tiempos se debe a la emisión desmesurada de gases contaminantes producto de problemas asociados al capitalismo consumista y otros males. El uso del agua para el riego en la agricultura se ve afectado por ser este líquido muy susceptible a contaminaciones. En el mundo se usa fundamentalmente el agua para el consumo humano, industrial y agrícola. Se impone la necesidad de su eficiente uso en el riego, producto del crecimiento acelerado de la población mundial [Alonso, 2006]. Entre los distintos métodos de riego, sobresalen los siguientes:

Riego aéreo.
Riego superficial.
Riego subterráneo.
Riego localizado.

Como se conoce, la influencia del cambio climático ha interferido notablemente en el régimen lluvioso, alteraciones que se han convertido en una de las afectaciones más peligrosas, trayendo consigo perjuicios extremos: inundaciones y sequías. Mundialmente cada vez llueve menos, y para que se produzcan grandes precipitaciones tienen que estar acompañados de eventos meteorológicos, como ciclones, tifones, mal tiempo y otras manifestaciones. También suelen presentarse anomalías con relación al estado del tiempo por la acción de los fenómenos atmosféricos llamados «El niño», «La niña», o ENOS (El Niño Oscilación del Sur). Existe un método conocido que ante estos fenómenos que ocurren en el mundo

de hoy puede de una manera efectiva actuar de forma muy eficiente en el cuidado del manto subterráneo, del agua embalsada e influye en el ahorro de electricidad y de combustible diésel, aprovechando al máximo las precipitaciones, combinando su aplicación con el riego o por medio de diferentes fuentes renovables de energía y con técnicas para aplicar a los cultivos las dosis de agua requeridas, o al menos una con la cual se puedan obtener rendimientos aceptables sin grandes costos. Este método se conoce con el nombre de Secano Favorecido.

Palabras clave: Secano favorecido, tecnología de riego, suelos

Abstract

In agriculture irrigation is an essential condition for several cultivations, but with respect to the cares that we should have with the water use and its influence on agricultural performances, it is necessary also to consider climate change. Its aggravation is due to the disproportionate emission of polluting gases. The use of water for irrigation in agriculture is affected because water is very vulnerable to contamination. At worldwide scale water is mainly used for human, industrial and agricultural consumption. Its efficient use in irrigation is necessary due to the growth of world population [Alonso, 2006]. Among the different methods of irrigation, we highlight the following:

Overhead irrigation.

Superficial irrigation.

Subsurface irrigation.

Localized irrigation.

As it is acknowledged, the influence of climate change has notably interfered in the rainy regimen, alterations that have become one of the most dangerous ones, bringing extreme events like foodings and droughts. At worldwide scale it is raining less, and in order big precipitations to take place they have to be accompanied by extreme meteorological events, like cyclones, typhoons, etc. Weather anomalies take place too due to atmospheric events like El Niño and La Niña, or ENOS (El Niño Southern Oscillation). Favored Secano is a known method that before these phenomena that are happening today in the world can help protecting the water table, influence energy and saving maximizing taking advantage of precipitations combining with its application with irrigation or by means of different renewable sources of energy and with techniques to apply for cultivations the doses of water required, or at least one with which acceptable results without big costs can be obtained.

Keywords: Favored dry region, technology of irrigation, soils

Introducción

El mundo de hoy requiere de tecnologías agrícolas que permitan la máxima rentabilidad posible en el uso del agua disponible, y con la introducción de las energías renovables tenemos la oportunidad de aplicar la energía solar en función de la tecnología de riego llamada secano favorecido. Este sistema es capaz de lograr, alternando con la lluvia, rendimientos aceptables de los cultivos, proporcionando un impulso a la producción agrícola, tanto para el sector cooperativo y campesino, como el estatal.

Todo ello conlleva a tener en cuenta, al momento de aplicar el riego, la lámina de agua caída (en mm) sobre el área sembrada, observando el balance entre los ingresos por concepto de la lluvia y el riego, y los egresos producidos por la evapotranspiración del cultivo. La experiencia del productor es imprescindible al momento de accionar la bomba para iniciar el riego, y su observación al recorrer el área es fundamental. Una forma muy práctica de corroborar lo expuesto es tomar entre las manos un puñado de tierra, apretarlo e inmediatamente abrirlo. Si la misma se mantiene unida o parcialmente conformada sin fragmentarse, entonces todavía hay humedad dentro de la parcela y no tendremos que aplicar el riego; otra manera es la de escarbar próximo a la planta y cerciorarnos del contenido de humedad que prevalece, aunque lo ideal sería que el agricultor contara en su parcela con un pluviómetro debidamente instalado, para conocer exactamente la lluvia incidente sobre la misma.

1. Descripción de la tecnología

La hectárea es un área agrícola que ocupa 10 000 m² (24 cordeles). Nuestros campesinos en su mayoría cultivan este espacio de terreno desde hace ya mucho tiempo, existiendo algunos que siembran en espacios mayores de tierra. La tecnología que recomendamos tiene el propósito de proporcionarle una producción estable en los cultivos agrícolas.

Dicha tecnología misma comprende la utilización de un pluviómetro en el área de riego, colocado según las normas establecidas por el Inrh para cuando llueva poder determinar si la misma satisfizo la demanda según la norma de riego establecida para el cultivo dado, conocida de antemano la velocidad de infiltración del suelo; de no cumplirse dicha norma, realizar el riego complementario correspondiente. Los pluviómetros pueden ser adquiridos en dependencias del Inrh, principalmente a través de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de la provincia o de algunas de sus dependencias. El riego puede ser aplicado mediante cualquiera de los métodos señalados; dentro de ellos el riego por gravedad es el más económico, demanda pocos insumos y solo requiere de una aceptable eficiencia en la preparación del suelo (nivelación).

El agua a utilizarse en este tipo de riego se puede obtener desde una fuente superficial o subterránea, y distribuirse a través de mangueras flexibles. En el borde del campo se coloca la manguera con compuertillas equidistantes, para aplicarle a cada surco el agua que demanda con una entrega de 1 a 6 l/s, más el componente biológico o químico que se vaya a aplicar.

Por lo general, nunca se le presta la debida atención al efecto real y cuantificado de la lluvia, ya sea por descuido o porque se considera que no influye en los rendimientos del cultivo, y sin embargo, tiene un peso enorme en la producción. A esto se le suma la poca optimización del agua de riego, lo cual va en detrimento de los rendimientos.

Este trabajo fue presentado en el Evento Internacional de Cubasolar celebrado en Varadero el 25 de abril del 2014.

Bases de la Investigación

Esta tecnología arrojó sus primeros resultados en la Finca La Victoria, del campesino Pluvio de Armas en el municipio Esmeralda, donde por primera vez se utilizó la manguera flexible en el riego de arroz. Este método continuó aplicándose en otros cultivos en rotación como calabaza, maíz, soya y maní, permitiendo que se añadieran fertilizantes biológicos, como se hizo en el arroz en el proyecto investigativo «Sustitución del canal terciario por conducción cerrada en cultivo del arroz por mangueras flexibles».

2. Consideraciones a tener en cuenta para el riego

Junto con el uso de la tecnología expuesta recomendamos utilizar productos biológicos, que pueden adquirirse en los Cree (Centros de Reproducción de Entomófagos y Entomopatógenos) del Minagri en los distintos municipios de la provincia, siguiendo los principios de la agricultura ecológica.

2.1. Precipitaciones

El promedio de la lluvia caída, en milímetros, caída se toma por meses en un rango entre 5 a 10 años y se lleva a m³/ha. La norma de aplicación es de 150 m³/ha para el secano favorecido. Siempre que sea posible se utilizará bombeo fotovoltaico, garantizando un volumen de extracción de 2 l/s; el tiempo de riego es 6 horas diarias, por lo cual se necesitan 4 días para cumplimentar la norma. Después de terminar cada riego se deben esperar 7 días para realizar el próximo. La cantidad de riegos por meses se calcula teniendo en cuenta los días que llovió en el mes y el completamiento de la norma de riego. También se debe tener en cuenta el tipo de suelo y el tipo de cultivo. A continuación exponemos una tabla de la

Lluvia caída en períodos determinados, es decir, precipitaciones mensuales y anuales en Camagüey, y cómo influyen en las normas de riego a aplicar.

Tabla 1. Precipitaciones mensuales y anuales en Camagüey

Lluvia promedio mensual y anual													
Años	Anual	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
2003	1209,0	9,0	43,0	79,0	140,0	111,0	181,0	72,0	140,0	144,0	75,0	168,0	47,0
2004	801,0	10,0	7,0	35,0	31,0	64,0	139,0	171,0	135,0	102,0	81,0	23,0	3,0
2006	1394,7	22,0	42,0	13,0	83,0	172,0	260,0	144,0	198,0	148,0	149,0	67,0	97,0
2007	1746,8	20,0	62,0	110,8	28,0	383,0	175,0	143,0	161,0	206,0	368,0	36,0	55,0
2008	1332,3	15,8	11,1	76,4	90,8	113,8	107,4	99,3	123,5	349,7	105,4	198,0	41,2
2009	1077,0	17,2	13,0	27,7	50,2	266,3	191,5	70,9	99,2	162,9	103,1	53,6	21,4
2010	1293,2	9,3	95,5	19,4	75,0	83,5	150,6	165,0	182,4	286,5	176,2	46,0	3,8
2011	1285,9	16,0	3,0	21,0	37,0	109,0	224,0	172,0	147,0	212,0	208,0	83,0	54,0
Promedio	1267,5	14,9	34,6	47,8	66,9	162,8	178,6	129,7	148,3	201,4	158,2	84,3	40,3
Promedio m ³ /ha	12 676,5	149,1	345,7	477,8	668,7	1628,3	1785,6	1296,6	1482,7	2013,8	1582,1	843,2	403,0
Norma secano favorecido m ³ /ha		150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Tiempo de riego solar (días)		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo entre riegos		7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Cantidad de riegos por mes		2,8	2,5	2,8	2,7	2,8	2,7	2,8	2,8	2,7	2,8	2,7	2,8
Cantidad de riegos por lluvia		1,0	2,3	3,2	4,5	10,9	11,9	8,6	9,9	13,4	10,5	5,6	2,7

El grado de aprovechamiento de la lluvia es influenciado por la acción del hombre. Siempre hay que disponer de sistemas de riego y drenaje en las

áreas de riego, porque en seco favorecido y en seco no debe faltar el drenaje eficiente capaz de elevar las producciones evitando la saturación del suelo, lo cual afecta el proceso biológico del desarrollo de la planta.

Para trabajar con la norma de riego de 150 m³/ha se ha realizado un análisis de la velocidad de infiltración de los suelos que predominan en Cuba, y de los principales cultivos que se producen en nuestra provincia. Además, se tuvieron en cuenta otros aspectos que pudieran influir en esta norma validada en la ya citada finca La Victoria del campesino Pluvio de Armas, y que resulta un valioso elemento para el ahorro y aprovechamiento del agua en el riego que puede tomarse en cuenta a la hora de elegir la tecnología más eficiente para cada cultivo. Teniendo en cuenta el tipo de suelo, la velocidad de infiltración será como aparece en la tabla siguiente:

Tabla 2. Velocidades de infiltración dependiendo del tipo de suelo

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración
Muy arenoso	20 a 25 mm/h
Arenosa	15 a 20 mm/h
Limo arenoso	10 a 15 mm/h
Limo arcilloso	8 a 10 mm/h
Arcilloso	Menos de 8 mm/h

El uso de las mangueras flexibles para entregar el agua a los surcos, además, aminora el uso de maquinaria y ahorra combustible. A continuación mostramos dos fotos donde se evidencia su uso.



Fig. 1. Daños en los surcos por entrega distorsionada o inadecuada del agua de riego.



Fig. 2. Acción del agua en la conducción de canales en tierra.

Obsérvese la acción del agua en el canal terciario y la anomalía de su entrega en el campo (suelo para caña y cultivos varios).



Fig. 3. Aforo de las compuertas de las mangueras flexibles.

En la imagen anterior se observa el aforo de las compuertas de las mangueras flexibles para aplicar las normas de conducción y de aplicación en el riego del cultivo del arroz, en la finca del campesino Pluvio de Armas, municipio de Esmeralda, Camagüey (Fuente: Servicio de información, Cita, Inrh, Camagüey).



Fig. 4. Riego de caña en Cali (Colombia).

Se puede apreciar el riego por surco con mangueras flexibles
(Fuente: Servicio de información, OLEFINAS S.A., Guatemala).



*Fig. 5. Riego de pasto con tecnología de secano favorecido Cali (Colombia).
Fuente: Servicio de información (Olefinas) S.A., Guatemala.*

Conclusiones

Esta tecnología brinda al agricultor la oportunidad de obtener de los cultivos sus máximos rendimientos, mediante disciplina tecnológica, y ahorrar el

agua tan necesaria en estos tiempos de sequía acumulada. Además, permite ahorro de combustible con la consecuente disminución de emisión de gases de efecto invernadero, así como la optimización del uso de otros elementos que intervienen en la producción agrícola.

Bibliografía

- ALEMÁN, LUIS (1980). *Diferentes estudios sobre el riego del arroz en Cuba*. La Habana: Ed. Científico Técnica, 80 p.
- ALIEXPOROV A., B. M. SOMOZA E I. LÓPEZ (1986). *Cálculo y correcta explotación de las obras hidrométricas más divulgadas en la red interna de la empresa*. Ministerio de Agricultura, DNRD – IIRD. La Habana.
- Anual Reporter the International Rice* (1970). Filipina editorial del IRRI, 375p.
- BAYRACTREKY, IVÁN (1962). *Guía para la medición del agua en los sistemas de riego*. Mico Shopolen, Sofía edición Técnica, 120 p.
- CHOW (1981). *Lluvias y escorrentía, riachuelo Shol en Worth Park*. Austin. Texas.
- CHOW, (2009). *Fuentes de agua superficial*. Cap. 5.1.V.T.
- CRIDDLE Y STOCK, (1941). «Measuring Water for Irrigation (Aforo del agua para riego)». Utah Eng. Expt. Sta. Bull.
- Dirección, Admon. Recursos Hidráulicos (1984). *Inventario de soluciones hidrométricas*. Album. La Habana: Instituto de Hidroeconomía, Operación de Sistemas.
- GARCÍA, O. (1985-350p). *Hidrometría de explotación en sistemas de riego*. La Habana: Científico-Técnico.
- GARCÍA, OSCAR (1985). *Hidrometría de explotación en sistemas de riego*. La Habana: Ed. Científico Técnica, 350 p.
- Génesis y clasificación de los suelos en Cuba* (1973). La Habana: Ed. Ciencia Revolución, 250 p.
- GROZEV, DIMITAR (1970). *Manual de explotación de regadíos*. Dirección Nacional de Riego y Drenaje, INRA, La Habana.
- HERNÁNDEZ, JOSÉ (1969). *Influencia del agua en el arroz*. Filipinas: Ed. ARIR, 210 p.
- <http://www.aeryd.es/seul.htm>. Informe final de la primera conferencia regional asiática.
- <http://www.congresosdelagua.org>. Riego y drenaje. «Eficiencia del riego en la producción de arroz».
- <http://www.fao.org/regional/LAmerica/paises/h2o/nicaragua.htm> 25/10/03.
- <http://www.flar.org/cfc/puntecbrasil>. «La base de una siembra de arroz exitosa».
- <http://www.icid.org/nup2005-3-sp.pdf>. «Sistemas tradicionales de riego».
- <http://www.lamolina.edu.pe>. «Desarrollo del riego y el drenaje....arroz».

<http://www.minambiente.gov.co>. «Guía experimental para el cultivo de arroz».

<http://www.minambiente.gov.co>. «Guía ambiental del arroz».

<http://www.wrpllc.com/books/fdr.html>. «Fundamentos del riego».

Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Minag (1984). «Inventario de soluciones hidrométricas (Vols. II-16)». La Habana: Ed. Instituto de Investigación de Riego y Drenaje, 200 p.

Israelsen (1970). *Principios y aplicaciones del riego*. La Habana: Ediciones Revolucionarias, segunda edición, 525 p.

MATOV, MALIN Y MÉNDEZ, MARCIAL (s/a). *Pequeñas obras hidráulicas para riego*. La Habana: Dirección Nacional de Riego y de Drenaje.

Ministerio de Agricultura (2005). *Manual de Hidrometría*. INRENA-UCPSI.

MORENO, H., Y H. PALACIO (1986). *Determinación de los consumos de agua en condiciones de explotación*. Sistema arrocero Jesús Suarez Gayol. Ciencia y Agricultura.

ORSON W. ISRAELSEN, Y VAUGHN E. HANSEN (1967). *Principios y aplicaciones del riego*. La Habana.

PERDOMO CAPOTE, ARNALDO Y GONZÁLEZ LOBAINA, FLAUBERT (1981). *Organización y explotación de sistemas de riego y de drenaje*. La Habana: Ed. Pueblo y Educación.

PEREIRA M., NELSON (1983). *Fundamentos institucionales y jurídicos de la política nacional de riego*. Comisión Nacional de riego.

PLA, ALBERTO (1979). *Estudio de diferentes manejos de agua en el cultivo de arroz*. La Habana: Ed. Científico Técnica, 85 p.

RABINOVICH, E. (1987). *Hidráulica*. Moscú; GSP; 1-110, URSS: Mir, I Rizhski per., 2,129820.

RODENOS, SALVADOR (2003). «El cultivo del arroz».

<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm> 25-10-03

ROSTOV-DON (1971). *Recomendaciones para medir gastos de agua en Cáucaso del norte. Albúm de los diseños técnicos de las obras hidrométricas*. Rusia.

SÁNCHEZ, MANUEL (2003). «Perfiles hídricos por país». Comisión Nacional de Riego.

www.aeclim.org/3cong/anton.pdf Métodos de cálculo en el consumo de agua.

La cáscara de arroz, un problema medioambiental para la ciudad de Manzanillo. Propuestas de soluciones para el desarrollo local

Rice shell, an environmental problem for the city of Manzanillo. Proposals of solutions for the local development

Por M. Sc. Denny Rodríguez Alarcón,
Ing. Ricardo Grant Alarcón***

** Dirección de Economía
y Planificación, Granma, Cuba.*

*** Empresa Agroindustrial del Grano Fernando
Echenique, Molino Arrocero Julio Zenón, Granma, Cuba.*

e-mail: denny@mzlllo.capgrm.co.cu

Resumen

Al realizar estudios referentes a los residuos industriales para determinar y aplicar políticas eficientes de gestión ambiental y el desarrollo de la localidad, se deben tener en cuenta aspectos primordiales como son las capacidades instaladas y las posibilidades de reúso de espacios dentro de la industria, y la posibilidad de que la comunidad aledaña se beneficie por igual de las soluciones que se alcancen. Los resultados obtenidos en este trabajo a través de entrevistas a directivos, especialistas y los trabajadores de la unidad, demostraron que es factible económicamente darle una respuesta desde el punto de vista económico al problema de los desperdicios del proceso industrial del arroz.

Palabras clave: Cáscara de arroz, residuos agroindustriales, desarrollo energético local

Abstract

When studying industrial residues to determine and apply efficient environmental management policies and local development, there are key aspects that should be taken into account like the installed capacities and the possibilities of reusing spaces inside the industry, and the possibility that the neighboring community benefits from the solutions achieved. The results of this paper, obtained through interviewing executives, specialists and workers of the organization, evidenced that it is economically viable to respond to the problem of residues of the industrial process of rice.

Keywords: Rice shell, agroindustrial residues, local energy development

Introducción

Industria del arroz

En Cuba la producción de arroz adquiere cada vez más en importancia, ya que es un alimento básico para la población con una producción estimada en el 2015 de unas 1 086 000 t.

La capacidad potencial industrial de molinado para la producción de arroz blanco de consumo, es de 390 000 ton anuales, cifra equivalente a procesar anualmente 670 000 ton de arroz cáscara húmedo. El aprovechamiento de esta capacidad industrial instalada es de 40%. Para desarrollar esa producción el país dispone de una infraestructura industrial compuesta en lo fundamental de 49 secaderos y 26 molinos, de los cuales 14 molinos-secaderos procesan 60% de la producción total.

Los índices de consumos actuales de portadores energéticos en el procesamiento industrial para el secado son de 14,90 litros de diésel/ton y 0,024 MWh/ton. En el caso del molinado el índice de consumo de electricidad es de 0,035 MWh/ton.

En Manzanillo contamos con dos molinos arroceros: el Julio Zenón y el Emilio Lastres Figueredo; este segundo está paralizado por problemas técnicos, mientras el primero está en óptimas condiciones de trabajo, y a él nos referiremos en el trabajo.

Durante el proceso productivo del arroz se generan varios residuos, de los cuales el salvado o polvo de arroz y la cabecilla se consideran subproductos al utilizarse como alimento animal por su valor nutritivo. Sin embargo, en la paja de arroz o restos de la planta después de la cosecha, así como en la cascarilla o cáscara de arroz obtenidas en el procesamiento industrial de limpieza del grano, por razones diversas no se cumple la seguridad ambiental requerida, y tal es el caso del Molino Julio Zenón.

La cáscara de arroz que se obtiene de esta producción queda como un residuo agroindustrial, la que por su baja densidad ocupa grandes volúmenes y crea un gran problema a la hora de encontrar dónde depositarlo. Estos desechos provocan afectaciones al medio ambiente, debido a que los mismos son expulsados por la tolva a un lugar descampado y el aire se encarga de esparcirlo; el resto es recolectado y quemado al aire libre, generando una ceniza con alto contenido de sílice (SiO₂), muy contaminante para el suelo y el manto freático. Esto provoca afectaciones medioambientales como nubes de polvo y de partículas que sobrevuelan por toda la ciudad y se deposita en diferentes lugares, lo cual trae malestar a la población, la contaminación del aire en el interior de las viviendas a nivel local y regional y a la comunidad circundante; todo esto

ocasiona afectaciones oftalmológicas, como la erosión corneal, que puede llegar a convertirse en queratitis [Santos Hernández, 2015].

Materiales y métodos

La creciente preocupación por la degradación medioambiental, la búsqueda de fuentes renovables de energía que sustituyan a los combustibles fósiles y las mejoras en la eficiencia energética, así como la necesidad de usar materiales de menor intensidad energética, estimulan los esfuerzos por encontrar materiales puzolánicos [Errasti Cabrera, 2015] reemplazantes del cemento, sin que se afecten las propiedades mecánicas de los hormigones, o en las acerías como aditivos en el acero por su alto contenido de carbono; además de su uso como briquetas combustibles para cocinas eficientes en centros educacionales, círculos infantiles y comedores obreros, que en muchos casos utilizan la leña (marabú).

La eliminación de volúmenes considerables de cáscara de arroz es un problema actual en los molinos ubicados en Manzanillo, por lo que en determinado momento se hace necesario eliminar, bajo garantías medioambientales, este residuo agroindustrial de poca utilización. En el presente trabajo, con vistas a convertir este problema en una oportunidad para el desarrollo local, que a su vez sea sostenible para estas industrias enclavadas en el entorno ciudadano (con escasos recursos y medios tecnológicos limitados), se estudió la energía eléctrica consumida en los años 2013 y 2014, así como los volúmenes de cáscara de arroz que genera el proceso industrial, teniendo en cuenta los balances de masa, índices de consumo, las tarifas de precios de venta de energía que se puede generar al SEN, así como el precio de la ceniza en el mercado mundial.

El balance de masa para realizar los cálculos de consumo de energía y producción de cáscara de arroz, se muestra en la tabla 1 [Curbelo, 2010].

Tabla 1. Balance de masa en el procesamiento industrial del arroz

Parte o concepto	Cantidad (kg)
Arroz en cáscara húmedo	100
Menos pérdida de peso en el secado (23% -13%)	10
Menos impurezas	10
Arroz en cáscara seco	80

Menos cáscara	22
Arroz blanco consumo	58

A continuación se exponen los valores de productos obtenidos y la energía eléctrica consumida en los años 2013 – 2014.

Tabla 2. Producción realizada por el Molino Julio Zenón años 2013 - 2014

Productos	Total	
	2013	2014
Cáscara molinada (ton)	26997,48	16232,28
Cascarilla de arroz (ton)	5939,45	3571,10

Fuente: Dpto. de Producción Molino Julio Zenón.

Tabla 3. Energía eléctrica consumida por el Molino Julio Zenón años 2013 - 2014

Productos	Total	
	2013	2014
Consumo energético (MW)	863,56	620,44

Fuente: Dpto. de Producción Molino Julio Zenón.

Como las tablas lo indican los resultados productivos del 2013 fueron mejores que los del 2014 debido al alargamiento del periodo seco, por lo que los consumos energéticos disminuyeron.

Tabla 4. Características del Grupo Electrógeno de Emergencia (GEE) que se encuentra instalado en el molino

Generador	Fases	Revoluciones (rpm)	Conexión (V)	Corriente (A)	Factor de Potencia (ϕ)
ATED	3	1800	220 – 380 - 480	1622 – 939 - 343	0,8

Motor	Potencia (kW)	Revoluciones (rpm)	Índice de Consumo (L/h)
Volvo Penta	604	1800	146

Demanda según conexión: (220 V → 50 MW)
(440 V → 380 MW)

A continuación, en la tabla 5 se muestran los precios de venta de electricidad neta al SEN (tarifa AZCUBA):

Tabla 5. Precio de venta de electricidad neta al SEN (tarifa AZCUBA)

Periodo del día	Horario	[CUC/kWh]	[CUP/kWh]	[MT/kWh]
Horario del día	5:00 – 17:00	0,112	0,075	0,186
Horario del pico	17:00 – 21:00	0,216	0,144	0,361
Horario de madrugada	21:00 – 5:00	0,077	0,051	0,128
Las 24 h		0,118	0,078	0,196

Debemos precisar que este molino se mantiene trabajando las 24 horas debido a que tiene un silo que debe de mantenerse refrigerado, por lo que la tarifa a aplicar es para 24 horas; precio de venta en 0,118 [CUC/kWh] y 0,078 [CUP/kWh].

Para realizar los cálculos de la energía que se puede obtener utilizando la cáscara de arroz, para gasificarla y utilizarla como combustible en el GEE, utilizamos los siguientes datos [Fuentes Hernández, 2005].

Tabla 6. Propiedades de la cáscara de arroz y precios en el mercado internacional

Tipo de residuo	U/M	
Cascarilla de arroz potencial energético	[kg/MWh]	1233
Índice de consumo de electricidad del proceso industrial	[MWh/Ton]	0,035

Poder calórico de la cascarilla	[MJ]	14 000
Densidad de la cascarilla	[Ton/m ³]	0,15
Producción de carbón de la ceniza cáscara arroz	[TonCarbón]	14
Precio de la CCA en el mercado internacional	\$ [USD/Ton]	600

Análisis y discusión

La evaluación económica del sistema se realiza en tres etapas, como se describe a continuación:

Primera etapa: Los beneficios fueron estimados a partir de la producción de energía eléctrica generada en el sistema y consumida en la industria, o sea, es el cobro que se deja de transferir a la Empresa Eléctrica en energía eléctrica, por no adquirir energía externa para el uso interno. La agroindustria, de acuerdo a la clasificación de los consumos de energía, está clasificada con tarifa para Servicios Mayores, que se caracteriza por la aplicación de tarifas diferenciadas en horarios pico (de 6:00 a 8:00 h y 18:00 a 20:00 h), o fuera de horas de mayor demanda.

De esta manera, el beneficio es dado por la cantidad de energía eléctrica producida por el sistema y consumida de acuerdo al tiempo de operación del molino, y de la tarifa de energía eléctrica que se tiene convenida (Ecuación 1):

$$B_{GEE} = (EEC \times T) \times TEE \quad (1)$$

Donde:

B_{GEE}: Beneficio con la generación de energía eléctrica [MCUC/año]

EEC: Energía eléctrica consumida [kW/h]

T: Tiempo de operación [Horas/año]

TEE: Tarifa de energía eléctrica [CUC/kWh]

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos para los años en estudio 2013 – 2014.

Tabla 7. Resultados obtenidos para los años en estudio 2013 – 2014

Rubro	U/M	2013	2014
Cáscara molinada	Ton	26 997,48	16 232,28
Cascarilla de arroz	Ton	5939,45	3571,10
Consumo energético	MWh	863,56	620,44
Energía obtenida	MWh	4817,07	2896,27
Porcentaje	%	17,93	21,42
Diferencia	MWh	3 953 506,43	2 275 833,09
Ventas al SEN	MCUP	466,51	268,55
Ventas al SEN	MCUC	308,37	177,51
Ventas al SEN	MMT	774,89	446,06

Segunda etapa: Los beneficios se estimaron para calcular el uso de los derivados de la gasificación de la cáscara de arroz (ceniza). En el mercado internacional la ceniza de la cáscara de arroz se comercializa a 600 [USD/Ton] [Fuentes Hernández, 2005], por lo que le añade otro valor agregado.

Además, la energía térmica contenida en los gases que se producen durante la combustión puede emplearse en distintos procesos agroindustriales y en otras necesidades básicas propias de este tipo de centro (secado de granos y biomasa, cocción de alimentos, calentamiento de agua, etc.).

En la tabla 8 se muestra la producción estimada de ceniza que genera el proceso de gasificación, para los años en estudio 2013–2014.

Tabla 8. Producción estimada de ceniza que genera el proceso de gasificación, para los años en estudio 2013 – 2014

Rubro	2013	2014
Cáscara molinada (Ton)	26 997,48	16 232,28
Cascarilla de arroz (Ton)	5939,45	3571,10
Producción de ceniza (Ton)	1306,68	892,78
Venta de ceniza (MCUC)	49 891 341,19	535 665,34

La ceniza de cáscara de arroz (CCA) es uno de los materiales de mejores posibilidades para su uso como adición puzolánica, pues al reaccionar con el cemento en un medio húmedo y a temperatura ambiente, aporta propiedades de durabilidad y resistencia a los hormigones de altas prestaciones, debido fundamentalmente al alto contenido de sílice amorfa en su composición (más de 90 %) [4-8]. Por lo tanto, confirmamos que tiene un mercado seguro en las fábricas de cemento de Cuba.

La producción de CCA con propiedades puzolánicas se estima en 0,14 [kg_{CCA}/kg_{CA}] y su calidad estará determinada, fundamentalmente, por su estructura amorfa. A su vez, la irregularidad en la distribución de las moléculas de ceniza dependerá directamente de la temperatura de quema de la biomasa, la cual debe estar entre 450°C y 900°C para que la CCA conserve su estructura amorfa; es por ello que el monitoreo y control de esta temperatura son factores imprescindibles a la hora de obtener un producto puzolánico de alta calidad. La ceniza utilizada como adición puzolánica en el cemento, que posea una distribución regular y ordenada de sus moléculas mediante patrones repetitivos extendidos en las tres dimensiones del espacio (estructura cristalina), no aportará a los morteros y hormigones de altas prestaciones las propiedades de dureza y resistencia mecánica esperadas [4-7, 11], debido a que en la medida en que la ceniza resultante de la combustión de la CA sea menos amorfa (y más cristalina) su microestructura será más estable y por tanto menos propensa a reaccionar con el Ca(OH)₂ presente en los hormigones.

Tercera etapa: En la tabla 9 se muestran los estimados para el cálculo del combustible dejado de consumir por la generación del SEN, lo que significa otro valor agregado.

Tabla 9. Estimados para el cálculo del combustible dejado de consumir por la generación del SEN.

Consumo en [MTCC]	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	Promedio
2013	0,20	0,43	0,41	0,28	0,14	0,26	0,43	0,30	2,45	0,55
2014	0,04	0,21	0,30	0,23	0,12	0,16	0,28	0,42	1,76	0,39

Por lo tanto, si se aprovecha toda la potencialidad de la cáscara de arroz en la sustitución de combustible por el SEN, podría ahorrarse un promedio de 0,35 [MTCC]. Conociendo que el precio de la tonelada de diésel en USD es 842,93, se ahorrarían:

Tabla 10. Ahorro de combustible

Consumo en [MTCC]	Total	Ahorro [MCUC]
2013	2,45	2067,96
2014	1,76	1485,75

Por lo que podemos plantear lo siguiente:

Tabla 11. Resumen por concepto de ahorro

Rubro	U/M	2013	2014
Energía obtenida	[MWh]	4817,07	2896,27
Ventas al SEN	[MCUP]	466,51	268,55
Ventas al SEN	[MCUC]	308,37	177,51
Ventas al SEN	[MMT]	774,89	446,06
Producción de ceniza	[Ton]	1306,68	892,78
Venta de ceniza	[MCUC]	49 891 341,19	535 665,34
Combustible MTCC	[MTon]	2,45	1,76

Ahorro por concepto de sustitución de combustible fósil			
	[MUSD]	2067,961	1485,75
Total	[MCUC]	49 893 717,521	537 328,6
Total	[MCUP]	466,51	268,55

Conclusiones

Como se ha demostrado en este trabajo, la relación entre la energía renovable y el desarrollo local, se manifiesta en tres aspectos o dimensiones:

- La económica: se le confiere gran importancia a los empresarios locales, pues asumen el rol determinante en el uso de los factores productivos en esta escala, lo cual conlleva a generar un nivel de productividad acorde a lo que se tiene planificado, así como un nivel adecuado de competitividad en los diferentes mercados.
- La sociocultural: rescata tradiciones, valores y manifestaciones culturales que, unido a las instituciones locales, sirven de apoyo al proyecto de desarrollo que se plantea.
- El apoyo a divulgar la cultura energética sostenible, mediante el uso de los residuos agrícolas, adquiere una dimensión cultural.
- La político-administrativa: se expresa en el conjunto de políticas territoriales que permiten la creación y el desarrollo de un entorno local favorable, capaz de desplegar sus potencialidades y proteger al territorio de afectaciones y anomalías económicas y(o) ambientales.

Por lo tanto, el trabajo deja implícito que:

En el proceso industrial: Los insumos energéticos, tales como la electricidad y los combustibles, son esenciales para generar empleos, realizar actividades industriales, transporte, comercio, micro-empresas y producciones agrícolas. La mayoría de los alimentos de primera necesidad deben procesarse, conservarse y cocinarse, para lo cual se necesita la energía derivada de diversos combustibles.

Garantizar la sostenibilidad ambiental: La producción, distribución y consumo de energía convencional produce muchos efectos adversos para el medioambiente local, regional y global. Entre otros efectos, provocan contaminación del aire en el interior de las viviendas; producción de partículas; degradación del suelo; acidificación del suelo y el agua; y el

cambio climático. De ahí la necesidad de contar con sistemas energéticos más limpios, y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Bibliografía

CURBELO, A. J., OSCAR; YOEL SUÁREZ (2010). «Contribución potencial de la biomasa como combustible a la generación distribuida en Cuba». CubaEnergía 2.

ERRASTI CABRERA, M. D. D. O., ANTONIO WERNER; SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, ANDY AMAURY; ABALLÍ ALTAMIRANO, CARLOS FERNÁNDEZ (2015). «Diseño de un sistema para el aprovechamiento integral de la cáscara de arroz. . .». Aplicaciones industriales. 36 N° 1.

FUENTES HERNÁNDEZ, A. C. R. R., ÁNGEL (2005). «Propuesta de diseño de un horno–reactor para realizar la pirólisis de la cáscara de arroz». Tecnología química XXV.

SANTOS HERNÁNDEZ, N. M. C., ALEXANDER; IPSÁN PEDRERA, NORANGELES; RIBET MOLLEDA, YOEL (2015). «El vertimiento de cascarilla de arroz y el medio ambiente». Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río. Revista Avances 17 N° 2.

Macroecología, principios y aplicaciones

Macroecology, principles and applications

Por Lic. Mayelin Álvarez

**Instituto de Investigaciones de Granos,*

Artemisa, Cuba.

e-mail: mayelin@iiarroz.cu

Resumen

Las diferentes especies nunca están solas sino que forman parte de sistemas complejos, en los que factores bióticos y abióticos participan de manera conjunta. Existen varias definiciones de macroecología y de manera general se puede plantear que es una ciencia no experimental que estudia patrones de distribución de las especies a grandes escalas, teniendo en cuenta sus características bio y ecológicas más relevantes y la influencia de los factores bióticos y abióticos que determinan dicha distribución. En los últimos años se ha convertido en una disciplina ecológica en auge, enfatizando en el estudio de patrones estadísticos emergentes a escalas espaciales y temporales. El objetivo de este trabajo es: Analizar la influencia de los principales paradigmas de la Macroecología y su relación con otras ciencias y aplicaciones. Dichos principales paradigmas son: transformaciones conceptuales y metodológicas, que se resuelven combinando conceptos y métodos de diferentes disciplinas. Esto posibilita mejor comprensión de patrones y procesos naturales y conlleva al surgimiento de investigaciones interdisciplinarias: la macroecología matemática, la biogeografía, la estructuración de las comunidades, la paleobiología, etc. Esto se favorece debido al desarrollo de herramientas tecnológicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), disponibilidad de bases de datos sobre la distribución y biología de especies. Sus principales aplicaciones son: plantear hipótesis sobre procesos ecológicos y ponerlos a prueba interpretando sus patrones, analizar datos ecológicos en un marco evolutivo, entre otras. En conclusión, la Macroecología es una ciencia en auge y ha sufrido transformaciones que originan nuevos paradigmas y posibilita diversas aplicaciones.

Palabras clave: Macroecología, principios, aplicaciones

Abstract

Species are never isolated rather they are part of complex systems, in which biotic and abiotic factors are interrelated. There are several definitions of macroecología and in a general it can be said that it is a non-experimental science that studies distribution patterns of the species at large scales,

taking into account their relevant biological and ecological characteristics and the influence of the biotic and abiotic factors that determine their distribution. In the last years it has become an important discipline, focused on the study of emerging statistical patterns at space and time scales. The objective of this paper is to analyze the influence of the main paradigms of Macroecology and its relationship with other sciences and applications. These paradigms are: conceptual and procedural transformations that are figured out combining concepts and methods of different disciplines. This facilitates a better understanding of patterns and natural processes and entails to surging of interdisciplinary investigations: mathematical macroecology, biogeography, structuring of the communities, paleobiology, etc. This is favored thanks to the development of technological tools like remote sensing and Geographical Information Systems (SIG) and the availability of data bases on the distribution and biology of species. Its main applications are: present hypothesis on ecological processes and test them by interpreting their patterns, analyzing ecological data in an evolutionary framework, among other ones. In conclusion, Macroecology is an expanding science that has endured transformations that originate new paradigms making various applications possible.

Keywords: Macroecología, principles, applications

Introducción

Las diferentes especies de seres vivos nunca están solas, y a pesar de que pueden ser separadas y subdivididas para su mejor estudio analítico, en realidad existen como parte de sistemas complejos, donde los factores bióticos y abióticos actúan de manera conjunta, en tramas de relaciones que se retroalimentan dinámicamente [Galán, 2012].

Las propiedades que tienen los sistemas complejos no se comprenden a cabalidad diseccionándolos en partes elementales, pues muchas de ellas son propias del conjunto, a distintos niveles de organización. Son características de los ecosistemas y dependen en consecuencia de una multiplicidad de factores, que a su vez, han tenido una historia evolutiva integral, muy dilatada y llena de particularidades [Galán, 2012].

Mac Arthur destacó el papel que juega la estructura del ambiente, la morfología, el comportamiento de las especies, las dinámicas poblacionales y la historia a la hora de explicar ciertos patrones ecogeográficos que se manifiestan a grandes escalas espaciales [M.Á. Olalla-Tárraga, 2014]. En *Geographical Ecology*, Mac Arthur aportó una visión novedosa al estudio de los patrones de diversidad y distribución de las especies, y sentó las bases conceptuales y metodológicas de una disciplina que surgiría con fuerza en

la década de los noventa: la Macroecología [M.A. Olalla-Tárraga, 2014], ver también Brown y Maurer [1989].

Existen diferentes conceptos de Macroecología, desde que fuera definida por primera vez por Brown y Maurer [1989] como un programa de investigación interesado en estudiar los patrones de organización de los ensamblajes de especies a grandes escalas espaciales. Considerando la especie como la unidad fundamental de estudio y conociendo algunas de sus características ecológicamente relevantes (por ejemplo, masa corporal, área de distribución geográfica o abundancia poblacional) [J. Torres-Romero y M.A. Olalla-Tárraga, 2014].

A finales de la década de los años ochenta del siglo XX Clavijero plantea que es el estudio de la forma en que las especies se reparten los recursos a nivel continental [Clavijero, 2001]. Se admite que este concepto no toma en cuenta las características relevantes de las especies ni el conocimiento de sus patrones de organización, sino que se enfoca en la forma de distribución de los recursos en una escala global.

Otro concepto definido por Galán expresa, en síntesis, que la Macroecología es el estudio de patrones y procesos ecológicos a grandes escalas. Dichos patrones son el resultado agregado de las contribuciones individuales de las especies y grupos de especies, tales como sus áreas de distribución, abundancia, biomasa e historia evolutiva. Comprende además el estudio de la distribución y dinámica de las condiciones climáticas y otros factores geofísicos a gran escala y sus efectos sobre la distribución de la vegetación y las especies animales en el mundo [Galán, 2012]. A diferencia del anterior, este concepto expone de manera más explícita las contribuciones de cada una de las especies en grandes escalas, pero a la vez tiene en cuenta las características relevantes de las especies, así como la influencia de los factores abióticos y bióticos, y su relación con la distribución de las especies vegetales y animales.

M.A. Olalla-Tárraga [2014] plantea que la Macroecología estudia los patrones y procesos de distribución y abundancia de las especies a escalas regionales o globales [M.A. Olalla-Tárraga], 2014, ver también Brown y Maurer [1989]. Esta definición es muy semejante a la de Biogeografía, que es la ciencia que estudia la distribución de las especies a gran escala y los procesos que la determinan. Sin embargo, esta tiene en cuenta los patrones de distribución de las especies pero no sus características relevantes, ni la influencia de los factores bióticos y abióticos y su efecto sobre la distribución de otras especies.

La Macroecología, a pesar de ser una ciencia no experimental, aporta conceptos e hipótesis para tratar de entender los patrones de interacción de

los organismos que se dan en la naturaleza. Así, plantea que el tamaño del rango geográfico está en relación directa con la abundancia y el tamaño corporal; que en los límites de la distribución, la mortalidad y migración superan a la natalidad e inmigración; que una alta supervivencia está asociada a un rango geográfico grande; y que la biodiversidad depende en última instancia de la capacidad del organismo para adquirir energía durante su desarrollo, y usarla con eficiencia biológica durante su existencia [Brown y Maurer, 1989].

De manera general se puede plantear que la Macroecología es una ciencia no experimental que estudia los patrones de distribución de las especies a grandes escalas, teniendo en cuenta sus características ecológicas más relevantes, así como la influencia de algunos factores bióticos y abióticos en la distribución de especies vegetales y de animales.

En los últimos veinte años la Macroecología se ha convertido en una disciplina ecológica en auge, alcanzando un notable desarrollo y se han explorado nuevas aplicaciones (Sally A. *et al.*, 2012). Esta ciencia enfatiza en el estudio de patrones estadísticos emergentes a grandes escalas espaciales y temporales. Teniendo en cuenta lo antes expuesto, propongo el siguiente objetivo:

Conocer los principales paradigmas de la Macroecología y su relación con otras ciencias y aplicaciones actuales.

Paradigmas de la Macroecología

La Macroecología ha tenido una serie de transformaciones conceptuales y metodológicas significativas, provocando el surgimiento de nuevos paradigmas en esta ciencia producto de los muchos problemas no resueltos en la investigación ecológica, que entonces se pueden resolver combinando conceptos y métodos que provienen de diferentes disciplinas [Ollama, 2002]. También, por el reconocimiento de los sistemas naturales organizados en niveles dentro de un sistema jerárquico, lo que ha permitido distinguir procesos ecológicos propios de cada nivel y su relación con otros niveles. Por último, el análisis de los sistemas complejos como una forma más precisa de estudiar los sistemas naturales, reconociendo que estos no son siempre lineales y que poseen múltiples estados de equilibrio. Además, presentan mecanismos de autorregulación que no son predecibles ni reversibles y cuyos procesos ocurren a diferentes escalas [Ollama, 2002]. En este campo existe una tendencia a considerar que los sistemas naturales no son completamente independientes de los sistemas sociales. Todo esto ha conllevado al surgimiento en los últimos quince años de nuevas investigaciones interdisciplinarias, además de otras disciplinas

clásicas ya establecidas, lo que ha posibilitado una mejor comprensión de patrones y procesos naturales [Gaston y Blackburn, 2000].

Algunas de estas son: la macroecología matemática, la biogeografía [Ruggiero, 2001], ver también Di Pasquo *et al.*, [2011], la estructuración de las comunidades [Brown, 2003], la paleobiología o la macroevolución [Gaston y Blackburn, 2000]. Esta ciencia se ha visto favorecida en los últimos años debido al desarrollo de herramientas y tecnologías en el ámbito de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), así como por la disponibilidad creciente de bases de datos sobre la distribución y biología de especies [M.A. Olalla-Tárraga, 2014; Gómez y Álvarez, 2006].

Se han realizado trabajos tanto a nivel teórico (p. ej. teoría de la conservación filogenético de nichos), como metodológico (p. ej. modelización predictiva de distribución de especies, reglas ecogeográficas, patrones y procesos de diversidad, aplicación de métodos filogenéticos comparativos), o aplicado (evaluación y mitigación de impactos del cambio global) sobre cuestiones macroecológicas, etc.

Trabajos pioneros como el de Hutchinson y Mac Arthur [1959], Mac Arthur [1972], Rapoport [1975], sentaron las bases donde se pueden enmarcar toda una línea de ensayos que continuó durante la década de 1980 [Brown 1981; Damuth 1981; Brown 1984; Damuth 1987; Morse *et al.* 1988; Brown y Maurer 1989].

Además, la escala de análisis de la Macroecología coincide con el marco espacial y temporal en el que opera la mayor parte de los componentes del llamado «cambio global» [Kerr *et al.*, 2007]. El calentamiento climático, los cambios en los usos del suelo, la fragmentación y pérdida de hábitats, el incremento en la deposición de nitrógeno o la introducción de especies alóctonas tienen importantes efectos a diferentes niveles de la organización biológica, pero operan fundamentalmente a grandes escalas espaciales. Por tanto, se ha hecho evidente la necesidad de realizar estudios macroscópicos que traspasen fronteras políticas y sirvan de complemento a investigaciones de carácter local, que dependen de la manipulación experimental controlada.

Aplicaciones

Los trabajos macroecológicos suelen abarcar extensiones geográficas a nivel regional, nacional, multinacional, continental y global; ver Beck *et al.* [2012]. Sus aplicaciones son amplias, permiten plantear hipótesis sobre procesos ecológicos y ponerlos a prueba interpretando sus patrones; también, estudiar la distribución geográfica de especies para determinar sus

patrones continentales y globales. Un ejemplo de esto último es la aplicación de modelos descriptivos de distribución de especies, herramienta muy utilizada para estimar la distribución real y potencial combinando datos sobre el nicho ecológico de las especies con información geográfica; esto se fundamenta en la relevancia del clima como limitante del rango de distribución geográfica. Algunos autores como Varela *et al.* [2014], mediante la creación de especies virtuales han demostrado que estos modelos pueden verse afectados por datos erróneos y sesgos de muestreo que aparecen con relativa frecuencia en las bases de datos sobre registros de presencia de las especies [M.A. Olalla-Tárraga, 2014].

Existen algunos métodos utilizados en la Macroecología que permiten analizar datos ecológicos en un marco evolutivo, como es el método filogenético comparativo, llamado Curva de señal-Representación Filogenética [PRS Diniz-Filho *et al.*, 1998]. Este marco es una expansión de la regresión basada en autovectores filogenéticos y ha sido utilizado en la autocorrelación filogenética, así como para visualizar gráficamente patrones en la variación de rasgos biológicos bajo diferentes modelos evolutivos [Diniz-Filho *et al.*, 2006]. Bini *et al.*, [2014] utilizaron datos del tamaño corporal y área de distribución geográfica de 209 especies del orden carnívora a nivel mundial para ilustrar su funcionamiento [M.A. Olalla-Tárraga, 2014].

Martínez *et al.*, [2014] recopilan datos morfológicos de especies en una familia de mamíferos carnívoros (*Felidae*) para estudiar la regla de Rensch; esta propone que existe una relación alométrica entre dimorfismo sexual de tamaño, y el tamaño corporal medio. En los taxones donde los machos son mayores que las hembras cabría esperar un aumento del dimorfismo sexual de tamaños, con incrementos de tamaño medio de las especies, y a la inversa si las hembras son mayores. A pesar de que los félidos manifiestan elevados niveles de dimorfismo sexual en su masa corporal, no se verifica la validez de la regla de Rensch en esta familia [M.A. Olalla-Tárraga, 2014].

De igual manera, ninguno de los predictores climáticos, ecológicos y de rasgos de historias de vida examinados mostró una asociación con el dimorfismo sexual de tamaño.

Ruggiero [1999] realizó una revisión sobre la interpretación y análisis de la Regla de Rapoport [Rapoport, 1975; 1982]. Este patrón predice la existencia de una correlación entre la amplitud geográfica media de los taxones que ocurren en cualquier punto determinado a lo largo de un gradiente ecológico y la posición de dicho punto a lo largo del gradiente, y presenta varias reglas en dependencia del gradiente ecológico:

La Regla Latitudinal de Rapoport predice un incremento progresivo de la extensión latitudinal media de las especies en función de la latitud [Stevens 1989].

La Regla Altitudinal de Rapoport predice un incremento progresivo en la extensión altitudinal y latitudinal media de las especies en función de la altitud [Stevens, 1992a].

La Regla Batimétrica de Rapoport expone un incremento en la extensión batimétrica (profundidad) media de las especies a mayor latitud [Stevens, 1996].

Por ejemplo, el patrón de Rapoport predice un incremento latitudinal progresivo en el tamaño de los rangos geográficos en ambos subcontinentes, independiente de efectos geométricos o filogenéticos. Sin embargo, si el tamaño de los rangos geográficos de las especies se explicara por el efecto de la geometría de los continentes, ello supondría un incremento de los rangos geográficos de las tortugas en altas latitudes de América del Norte y un decremento al sur de América del Sur [Ruggiero, 1999].

A partir de registro de datos de la latitud y longitud de la distribución de cada especie, se calcula la diferencia entre los puntos más extremos norte y sur de su distribución geográfica y se obtiene la extensión latitudinal de cada una.

Los métodos utilizados para determinar el efecto de Rapoport fueron:

El de Stevens, mediante el cual no se detectaron diferencias en los patrones de distribución de las especies, o sea, no se detecta el efecto de Rapoport en América del Sur a pesar de haber un incremento latitudinal de las especies en los 30°N de América del Norte. Estos datos no son susceptibles de ser analizados por pruebas estadísticas corrientes.

Fig. 1. La significación estadística se puede explicar utilizando los otros dos métodos, aunque los resultados se ven afectados (Figs. 2 y 3).

El del punto medio de Rohde, cuyos datos contradicen el efecto de Rapoport.

El del punto más distante de Pagel, donde el patrón se verifica en el hemisferio norte (Tabla 1).

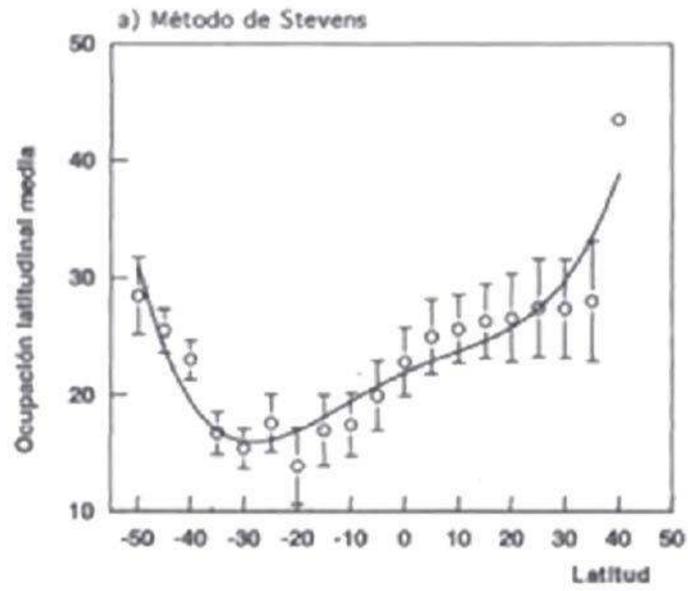


Fig.1. Método de Stevens.

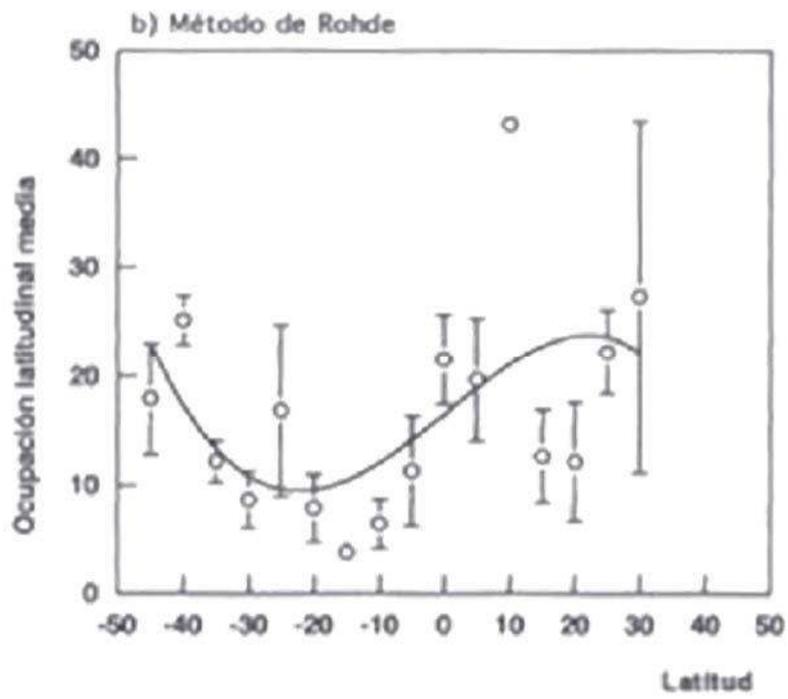


Fig.2. Método de Rohde.

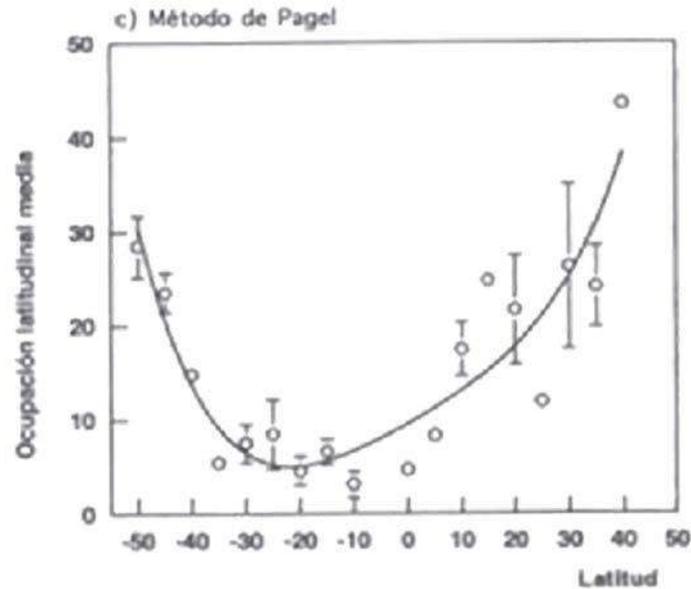


Fig.3. Método de Pagel.

Tabla 1. Coeficiente de correlación del rango de Spearman (RS), de la relación entre la extensión y ocupación latitudinales de las especies de tortugas americanas, por hemisferios y bandas

Extensión latitudinal	Bandas totales			Hemisferio norte			Hemisferio sur		
	Rs	N	P	Rs	N	P	Rs	N	P
de Rohde	-0,21	16	0,43 (0,62)	0,28	9	0,46 (0,54)	-0,43	6	0,40 (0,59)
de Pagel	0,34	18	0,16 (0,07)	0,75	9	0,02 (0,56)	0,09	8	0,82 (0,08)
Ocupación latitudinal									
de Rohde	0,14	16	0,6	0,73	9	0,02	0,09	6	0,87
de Pagel	0,56	18	0,02	0,85	9	0,004	0,71	8	0,05

A través del estudio de las propiedades emergentes se puede profundizar el conocimiento sobre la estructura y el funcionamiento de los sistemas ecológicos, así como tratar de predecir comportamientos futuros. También

se puede estudiar el efecto del impacto humano sobre la riqueza de especies.

Uno de los patrones clásicos estudiados por los macroecólogos es el gradiente latitudinal de riqueza de especies, para el cual se ha sugerido gran variedad de posibles explicaciones ecológicas, evolutivas, históricas y geográficas [Currie 1991; Hawkins *et al.* 2003; Wiens y Donoghue 2004].

A nivel regional se ha recurrido a censos de población humana para valorar sus posibles impactos sobre la riqueza de especies; por ejemplo: Rangel *et al.* [2007]; López-Arévalo *et al.* [2011]. Asimismo, otros investigadores han utilizado imágenes satelitales para estimar el número de habitantes por km² para un área concreta, y tratar así de determinar posibles vínculos entre densidad de población humana y riqueza de especies; por ejemplo: Araújo [2003]; Barbosa *et al.* [2013]. Finalmente, algunos estudios recientes han empleado estimadores de impacto humano más completos, tales como la Huella Humana de Sanderson *et al.* [2002] y la Accesibilidad Humana [Nelson, 2008] para estudiar su correlación con la riqueza de especies; véase por ejemplo: Flojgaard *et al.* [2011]; Fjeldsa y Burgess [2008]; Torres-Romero y Olalla-Tárraga [datos sin publicar].

Aunque existan diferentes métricas para estimar los niveles de presión antrópica, existe un objetivo común para este tipo de trabajos: conocer el grado de asociación entre impacto humano y riqueza de especies para orientar, en su caso, posibles medidas de conservación de la biodiversidad a diferentes escalas espaciales. En algunos trabajos se ha encontrado una relación negativa entre el impacto humano y riqueza de especies, mediada por procesos de pérdida y fragmentación de hábitat, cambios del uso del suelo, o fenómenos de competencia por espacio [Koh *et al.* 2006; Pillsbury y Miller 2008; López-Arévalo *et al.* 2011].

Esta relación negativa suele estar relacionada con la distribución espacial de la disponibilidad de recursos, ya que los seres humanos tienden a ocupar sitios más productivos originando un impacto sobre la biodiversidad de esa región.

Un ejemplo más visualizable sobre el efecto del impacto humano sobre la pérdida de biodiversidad es el realizado por Galán [2012], en el país Vasco, donde se ha encontrado una inversión de la topografía del paisaje [Margalef, 2002]. Para esto se compararon mapas temáticos y fotografías aéreas de diferentes fechas, observándose una reducción de la cobertura arbórea y la extensión de áreas humanizadas (urbanas, vías de comunicación, plantaciones) y la reducción y degradación de las áreas naturales. También fue notable el efecto de la deforestación sobre la fauna cavernícola, que ha disminuido debido al incremento de la sequía

subterránea, originándose una fermentación activa que produce ácidos orgánicos y otros factores [Margalef, 2002].

Conclusiones

1. La Macroecología es una ciencia que ha tomado auge y en los últimos años ha tenido una serie de transformaciones originando nuevos paradigmas.
2. Existen numerosas disciplinas que guardan relación con la Macroecología.
3. La Macroecología tiene diversas aplicaciones.

Referencias bibliográficas

- ARAÚJO, M.B. (2003). *The coincidence of people and biodiversity in Europe. Global Ecology and Biogeography* 12: 5-12.
- BARBOSA, A.M., PAUTASSO, M., FIGUEIREDO, D. (2013). *Species-people correlations and the need to account for survey effort in biodiversity analyses. Diversity and Distributions* 19: 1188-1197
- Beck et al. (2012). *What's on the horizon for macroecology? Ecography* 35: 673-683.
- BINI, L.M., VILLALOBOS, F., DINIZ-FILHO, J.A.F. (2014). Explorando patrones en rasgos macroecológicos utilizando regresión secuencial de autovectores filogenéticos. *Ecosistemas* 23(1):000-000. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-1.04.
- BROWN, J.H., (1981). *Two decades of homage to Santa Rosalia: toward a general theory of diversity. American Zoology.* 21 (4), pp. 877-888.
- BROWN, J.H., (1984). On the relationship between abundance and distribution of species. *The American Naturalist.* 124 (2), pp. 255-279.
- BROWN, J.H AND MAURER, B.A. (1989). *Macroecology: The division of food and space among species on continents. Science* 243: 1145-1150.
- BROWN, J.H. (1995). *Macroecology.*
- BROWN, J.H. (2003). *Macroecología.*
- CLAVIJERO F.J. (2001). Las tres hipótesis macroecológicas.
- CURRIE, D.J. (1991). *Energy and large-scale patterns of animal-and plantspecies richness. American Naturalist* 137: 27-49.
- DAMUTH, J. (1981). *Population density and body size in mammals. Nature.* (290), pp. 699-700.
- DAMUTH, J. (1987). *Interspecific allometry of population density in mammals and other animals: The independence of body mass and population energy-use. Biological Journal of the Linnean Society.* (31), pp. 193-246.
- DI PASCIO, F. et al. (2011). La ecología disciplinar y la intrusión de la problemática ambiental: hacia la «percepción de fenómenos globales».

- DINIZ-FILHO, J.A.F., SANT'ANA, C.E.R., BINI, L.M. (1998). *An eigenvector method for estimating phylogenetic inertia*. *Evolution* 52: 1247-1262.
- DINIZ-FILHO, J.A.F., BINI, L.M., PINTO, M.P., RANGEL, T.F.L.V.B., CARVALHO, P., BASTOS, R.P. (2006). *Anuran species richness, complementarity and conservation conflicts in Brazilian Cerrado*. *Acta Oecologica* 29:9-15.
- E.J. TORRES-ROMERO AND M.Á. OLALLA-TÁRAGA (2014). Impacto humano y riqueza de especies de vertebrados terrestres: una revisión a diferentes escalas macroecológicas.
- FJELDSA, J. AND BURGESS, N.D. (2008). *The coincidence of biodiversity patterns and human settlement in Africa*. *Journal of Ecology* 46: 33-42.
- FLOGAARD, C *et al.* (2011). *Deconstructing the mammal species richness pattern in Europe towards an understanding of the relative importance of climate, biogeographic history, habitat heterogeneity and humans*. *Global Ecology and Biogeography* 20: 218-230.
- GALÁN, (2012). *Macroecology, biodiversity and environmental change process in the Basque country*.
- GASTON, K.J. AND BLACKBURN, T. (2000). *Pattern and Process in Macroecology*.
- GÓMEZ M. *et al.*, (2006). Modelación de la distribución espacial de diez especies de aves amenazadas en jurisdicción de Corantioquia.
- HAWKINS, B.A. *et al.* (2003). Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology* 84: 3105-3117.
- KERR, J.T., KHAROUBA, H.M., CURRIE, D.J. (2007). The Macroecological Contribution to Global Change.
- KOH, C.N. *et al.* (2006). *Bird species richness patterns of northern Taiwan: primary productivity, human population density, and habitat heterogeneity*. *Diversity and Distributions* 12: 546-554.
- LÓPEZ-ARÉVALO *et al.* (2011). *Local knowledge and species distribution models' contribution towards mammalian conservation*. *Biological Conservation* 144:1451-1463.
- M.Á. OLALLA-TÁRAGA (2014). Macroecología: una disciplina de investigación en auge.
- M.Á. OLALLA-TÁRAGA AND E.J. TORRES ROMERO (2014). Impacto humano y riqueza de especies de vertebrados terrestres: una revisión a diferentes escalas macroecológicas.
- MAC ARTHUR, R.H. (1972). *Geographical ecology*. Harper y Row, New York, 269 pp.
- MARGALEF R. (2002). La superficie del planeta y la organización de la Biosfera: reacción a los nuevos mecanismos añadidos por el poder creciente de los humanos. *Munibe Ciencias Naturales*, 53: 7-14.
- MARTÍNEZ *et al.* (2014). Una aproximación filogenética al estudio del dimorfismo sexual de tamaño en Felidae y la evaluación de la regla de Rensch.

- NELSON A. (2008). *Travel time to major cities: a global map of accessibility*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- OLLAMA, K. (2002). Nuevos paradigmas y fronteras en Ecología.
- PILLSBURY, F.C. AND MILLER, J.R. (2008). *Habitat and landscape characteristics underlying anuran community structure along an urban-rural gradient*. *Ecological Applications* 18: 1107-1118.
- RANGEL, T. et al., R. (2007). *Human development and biodiversity conservation in Brazilian*. *Applied Geography* 27: 14-27.
- RAPOPORT E.H. (1982). *Areogeography: geographical strategies of species*.
- RAPOPORT E.H. (1975). *Areogeografía. Estrategias geográficas de especies*. 214 pp.
- RUGGIERO, A. (1999). *Búsqueda de patrones en Macroecología: La regla de Rapoport*.
- RUGGIERO, A. (2011). «Interacciones entre la biogeografía ecológica y la macroecología: aportes para comprender los patrones espaciales en la diversidad biológica».
- SALLY A. et al. (2012). *What is Macroecology? Solutions*. *Science* 316: 1581-1584.
- SANDERSON, E. et al. (2002). *The human footprint and the last of the wild*. *BioScience* 52: 891- 904.
- STEVENS, G.C. (1989). *The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics*. *The American Naturalist* 133:240-256.
- STEVENS, G.C. (1992a). *The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude*. *The American Naturalist* 140:893-911.
- STEVENS, G.C. (1996). *Extending Rapoport's rule to pacificmarine fishes*. *Journal of Biogeography* 23:149-154.
- VARELA, S. et al. (2014). *Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones*. *Ecosistemas* 23(1): 000-000.
- WIENS, J.J. AND DONOGHUE, M.J. (2004). *Historical biogeography, ecology and species richness*. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 639-644.

Eco Solar es una publicación científica electrónica trimestral para los especialistas de las fuentes renovables de energía. Se dedica a la promoción de temas relacionados con la energética, las energías alternativas, la física ambiental, la arquitectura bioclimática, el impacto sobre el medio ambiente la educación ambiental, la termoconversión, la eficiencia energética, y las energías de origen hidráulico, fotovoltaico, eólico, solar, biomasa y ciencias relacionadas

DIRECTOR GENERAL:

Dr. Luis Bérriz Pérez.

DIRECTOR:

M.Sc. Manuel Álvarez González.

EDITORES:

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez.

Ing. Jorge Santamarina Guerra.

CONSEJO EDITORIAL:

Dr. Luis Bérriz Pérez.

M.Sc. Manuel Álvarez González.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

M.Sc. Manuel Fernández Rondón.

M.Sc. Daniel López Aldama

CONSEJO ASESOR:

Dra. Elena Vigil Santos.

Dr. Conrado Moreno Figueredo.

Dr. Sergio Corp Linares.

Dr. José Guardado Chacón.

Dr. Deny Oliva Merecio.

Dra. Dania González Couret.

Dr. Juan José Paretas.

Lic. Bruno Henríquez Pérez.

M.Sc. Leonor Turtós Carbonell.

Lic. Ricardo Bérriz Valle.

Dr. David Pérez Martín.

Dr. César Cisnero Ramírez

DISEÑO ELECTRÓNICO:

D.I. Antonio Romillo Polaino.

WEB MASTER:

Lic. Ernesto Nolasco Serna.



**SOCIEDAD CUBANA PARA LA PROMOCIÓN
DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y EL RESPETO
AMBIENTAL**

Calle 20 no. 4113, esquina a 47, Miramar, Playa,
Ciudad de La Habana, Cuba. Código Postal: 11300.

Teléfono: (537) 205-9949.

Apartado postal: 6611, CP: 10600, Ciudad de La Habana, Cuba.

e-mail: editora@cubasolar.cu

<http://www.cubasolar.cu>