

## ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA SUSTENTABLE PARA EL HABITAT EN ZONAS SEMIÁRIDAS DEL OESTE ARGENTINO

**Ricardo R. Palma**<sup>\*</sup>

**Gustavo Maser**<sup>\*\*</sup>

**Duilio Calcagno**<sup>\*\*\*</sup>

**RESUMEN:** En este trabajo se han desarrollado una serie de técnicas computacionales de optimización para operación y explotación sustentable de recursos agro-energéticos que existen, o pueden desarrollarse, en los bordes de desiertos y zonas semiáridas del oeste argentino. Se pretende aquí encontrar la forma de utilizar esa energía para el desarrollo “sustentable” de otras actividades industriales y para mejora en las condiciones de habitabilidad de la región y mitigar el avance de los desiertos. Se recurre al uso de una matriz de Leontief que permiten a un algoritmo genético encontrar las soluciones que garantizan estar en la frontera Pareto Optimal y lograr el desarrollo sustentable de esas regiones.

**Palabras claves:** Algoritmo genético. Optimización del hábitat. Desarrollo sustentable. Desarrollo en zonas semidesérticas.

### 1 INTRODUCCIÓN

Contrario a lo que la mayor parte de las personas suelen intuir, los bordes de las áreas cultivables y los desiertos semiáridos son zonas de desarrollos potencial y con condiciones especiales para el progreso de comunidades que respeten el equilibrio que la naturaleza impone. En general generaciones anteriores, con muchos menos recursos tecnológicos que la nuestra, han logrado no sólo prosperar, sino construir grandes imperios entorno a los desiertos, sin mencionar los logros respecto a turismo, comercio e inmensidad de recursos “no vegetales” que podrían explotarse y no son viables por su baja densidad poblacional.

A pesar de ello en nuestro país esta región, caracterizada por una régimen de lluvias menor a los 200mm al año se extiende como cinturón que rodea a la zona de cultivo intensivo

---

<sup>\*</sup> Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Cátedra Técnicas y Herramientas Modernas, Argentina. [rpalma@uncu.edu.ar](mailto:rpalma@uncu.edu.ar)

<sup>\*\*</sup> Mendoza Argentina Centro Universitario (M5502KFA), Ciudad, Mendoza. Casilla de Correo 405, Argentina. [gmasera@fing.uncu.edu.ar](mailto:gmasera@fing.uncu.edu.ar)

<sup>\*\*\*</sup> Mendoza Argentina Centro Universitario (M5502KFA), Ciudad, Mendoza. Casilla de Correo 405, Argentina. [duilioalcagno@gmail.com](mailto:duilioalcagno@gmail.com)

de la pampa húmeda, sin mayor interés para el desarrollo que el que pueden tener sus habitantes y las autoridades comunales que los representan.

En este trabajo se desarrolla una muestra de la segunda etapa de un programa de investigación de la Universidad Nacional de Cuyo, que ha comenzado con la implementación de cultivos energéticos (notablemente la *jatropha curcas*, la colza y el topinambur) destinados a la generación de biocombustibles.

En la provincia de Mendoza, esta zona tiene una extensión de doce mil hectáreas, que comparada con la zona cultivable tiene un interesante perfil de desarrollo y localización de poblaciones en un territorio que solamente tiene un 3% de oasis habitados. Cabe destacar además que la zona de trabajo tiene el inconveniente de la mala calidad de la poca cantidad de agua disponible. En general los acuíferos son fácilmente accesibles, pero por lo general tienen niveles de arsénico o dureza total que hacen el agua no apta para consumo humano.

Otro motivo fundamental que impulsa el trabajo de esta comunidad de investigadores es que ante el aumento del deterioro y la degradación de la tierra en el mundo, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el actual período 2010/2020 como Decenio de las Naciones Unidas para los Desiertos y la Lucha contra la Desertificación. Mejorar o ampliar las oportunidades de explotaciones industriales en estas zonas es una forma de evitar el avance de la desertificación y de proteger el delicado equilibrio que existe en estos ecosistemas.

En el presente trabajo se estudia un mecanismo sustentable de optimización multiobjetivo de recursos que permitan atemperar las condiciones extremas que el clima impone mientras se reduce al mínimo el consumo de agua no apta, recurriendo a fuentes alternativas de energía para tratar el agua, cultivar orgánicamente y mejorar la sustentabilidad de poblaciones existentes.

Las soluciones al problema planteado se encontrarán en la misma matriz Leontif (matriz insumo / producto) que es operada por el algoritmo genético desarrollado en *Scilab*. El lector encontrará en las secciones siguientes un detalle de la hipótesis principal sobre los tópicos que se pretenden optimizar, luego un detalle de la revisión bibliográfica y detalles de un ensamble de piezas de software que recurren a la API de *Google Maps* con las que se determinan factores de carga térmica y necesidad de agua potable de los poblados bajo estudio presentado bajo el tópico de materiales y métodos.

En base a estos resultados parciales se presenta la propuesta de construcción de un domo geodésico que actúa como captor de energía solar y controlador del crecimiento de

algas y biomasa. Con los datos obtenidos de la investigación de un prototipo que se observó durante un año se presentan los datos obtenidos y se discuten los resultados obtenidos.

## **2 HIPÓTESIS PRINCIPAL**

Es posible mejorar las condiciones del hábitat y calidad de vida de los pobladores de las zonas semiáridas mediante la incorporación de cultivos industrializables exóticos orgánicos en las actividades cotidianas de las comunidades. El uso de las fuentes de energía alternativas, que ya han instaurado muchas de estas comunidades, tienen el inconveniente de no poder comercializar los excedentes por carecer de vínculos al sistema eléctrico interconectado, de modo que como hipótesis secundaria se indagará sobre los beneficios de aplicar este excedente de energía a la actividad agroindustrial para mejorar su microeconomía con un producto con mayor valor agregado que la energía obtenida. En esta hipótesis secundaria se priorizarán los aspectos relativos al uso de agua para consumo humano, y los factores de sustentabilidad ambiental en una zona de delicado equilibrio ecológico.

## **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

En primer lugar se recurrirá a un relevamiento bibliográfico sobre la temática “mejores técnicas de irrigación en zonas desérticas.”. De la revisión preliminar surgen como muy interesantes los trabajos de Brooks (2003) y Phocaidés (2007). En ellos se señala los inconvenientes que tendría el uso de riego presurizado y por aspersión en estas zonas que tienen un alto potencial de evaporación y aguas que dejarían sales que afectarían la fisiología vegetal. Como resultado de esta etapa preliminar se ha decidió por el uso de la técnica de hidroponía.

Esta técnica resulta atractiva toda vez que utiliza en forma confinada un volumen de agua que no resulta fácilmente evaporable. Para complementar este efecto se recurrirá al uso de invernaderos, no tanto por el potencial que brindan para desarrollar cosechas de invierno, sino por la limitación extra que imponen al fenómeno de evaporación y el consiguiente ahorro de agua que se consigue confinando el cultivo en el invernadero con hidroponía.

Para el diseño del invernadero y su balance energético, así como para la demanda energética de las viviendas de la comunidad se ha recurrido al software *EnergyPlus* (CRAWLEY et al., 2001) que utiliza dos viejos algoritmos de los años 80 y 90, pero que son ampliamente utilizados y aceptados por la comunidad académica a nivel global BLAS o DOE-2 (JUDKOFF et al., 1980). Estos algoritmos proveerán los balances de energía y masa

para determinar las temperaturas en el hábitat humano y del cultivo. Esta será la principal instancia de medición de performance que utilizará el algoritmo genético desarrollado como principal aporte de este trabajo.

Por último en la etapa de optimización se ha recurrido a una algoritmo de optimización multiobjetivo de SCILAB (BAUDIN; COUVERT; STEER, 2010), (PENG; MA 2006). En este caso además de los aspectos energéticos se evalúa el consumo global de agua, la proporción de arsénico que se puede eliminar de la misma y el impacto que la explotación industrial tiene sobre el ambiente.

#### **4 ECONOMÍA ENERGÉTICA PARA EL CONFORT HABITACIONAL**

Un aspecto interesante que debe ser tenido en cuenta al tratar la mejora en las condiciones de habitabilidad de las viviendas es el relativo a la gran amplitud térmica que se registra en las zonas desérticas y semiáridas. Dado el bajo contenido de humedad del aire, y contrario a la expectativa general, estas regiones presentan temperaturas extremas tanto en las máximas como en las mínimas. Dentro de un mismo día se han podido medir amplitudes de 42°C (máxima 38°C y mínima de -4°C).

Por esta razón parte de la investigación ha recorrido la zona y ha verificado que potencial de regulación de la temperatura tiene la construcción de viviendas y las estrategias arquitectónicas utilizadas. Se ha procurado un cuidado especial en el análisis de las viviendas de adobe construidas por pobladores descendientes de las comunidades Huarpes. Dentro de este grupo de viviendas las más llamativas han sido las construidas con horcones y adobe, que han sido objeto de estudio de otros investigadores de nuestra universidad por su importante estabilidad y resistencia a los sismos.

Como parte de la investigación se ha detectado una estrategia energética destinada a preservar a los habitantes de las temperaturas altas. Esta estrategia es también utilizada en otros desiertos y consiste en procurar diseños en donde la misma construcción proyecta sombras sobre sí misma.

En la Figura 1 puede observarse las diferentes topologías en las que se han agrupado las construcciones existentes y con el uso del software *OpenStudio*® (GUGLIELMETTI; MACUMBER; LONG, 2011) se ha evaluado la energía requerida por cada 20 m<sup>2</sup> cubiertos necesarios para mantener una temperatura interior diez centígrados por debajo de la máxima o diez centígrados por arriba de la mínima a lo largo de un año.

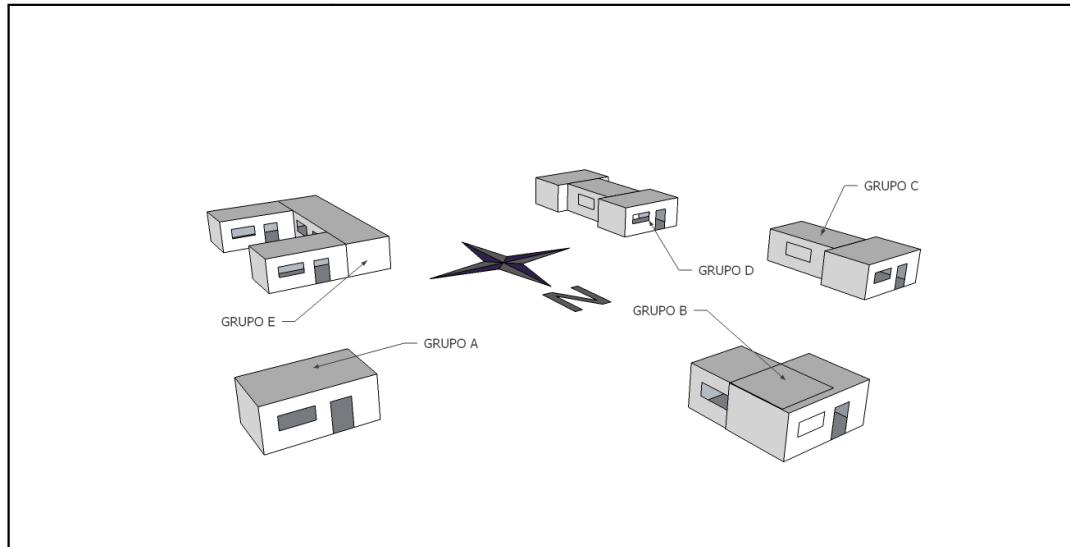


Figura 1 – Evaluación de la energía recibida según la configuración  
Fuente: Elaborado con *OpenStudio Sketch Up Plugin®*

Para la simulación se recurrió a la serie estadísticas de temperaturas del año 2010 provistas por la estación meteorológica propia instalada en la zona. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1 – Promedio anual de energía consumida para aclimatar por cada 20m<sup>2</sup>

Tipología	Consumo medio anual (KW/hora)*
<b>Grupo A</b>	2.757
<b>Grupo B</b>	2.753
<b>Grupo C</b>	2.75
<b>Grupo D</b>	2.76
<b>Grupo E</b>	2.65

\* Energía consumida para mantener la temperatura, *Set Point* Invierno 18°C, *Set Point* Verano 26°C

Dada la necesidad de trabajar con una condición fijada de antemano desarrollaremos el trabajo de investigación sobre una construcción tipo “Grupo E”. Luego el lector podrá extender las conclusiones y el trabajo del algoritmo genético a las otras configuraciones según sus necesidades.

Para satisfacer estas necesidades energéticas y al mismo tiempo provocar el menor impacto ambiental con máxima cantidad de agua sin arsénico, se propone trabajar con una configuración como la que se muestra en la Figura 2.

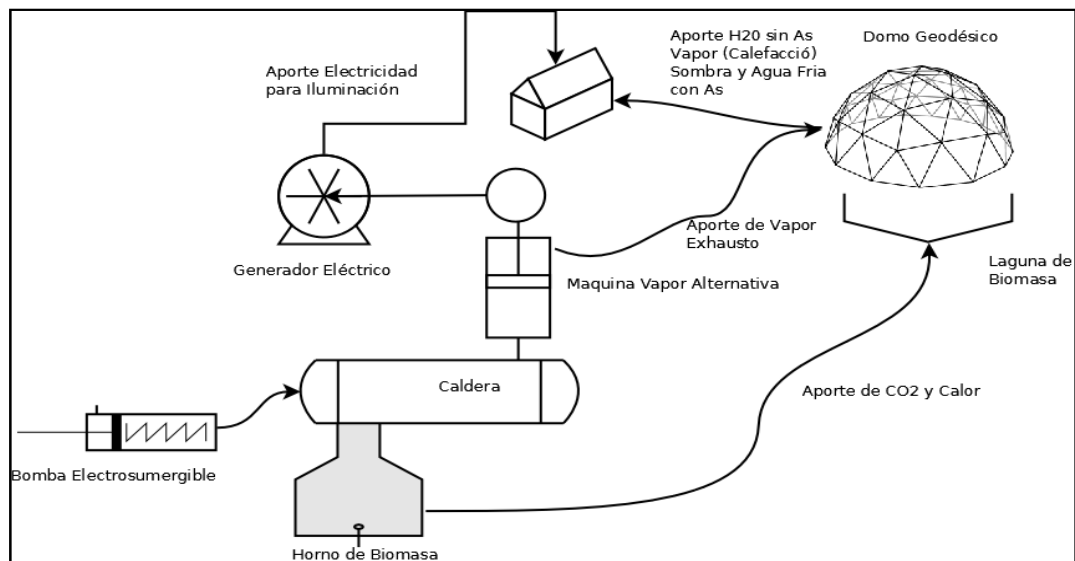


Figura 2 – Esquema sustentable de generación de energía y agua sin As  
Fuente: Elaboración propia en base al piloto construido

En el esquema puede observarse una bomba electro sumergible accionada por energía eólica. Esta bomba si bien puede obtener un pequeño caudal de agua del orden de los 50 a 150 litros por día, no aporta agua para consumo humano ni para riego por su elevado contenido de arsénico. Con el agua se alimenta una caldera que es calentada con biomasa. Esta biomasa puede ser generada a partir de los cultivos para consumo, del biodiesel producido, o de la biomasa de algas que luego se detalla.

Con el vapor obtenido es posible accionar una máquina de vapor (locomóvil) de Ciclo *Rankine* Abierto. A partir de ella se acciona un generador eléctrico para iluminación en la casa durante la noche o si sobra agua accionar la bomba electro sumergible. El vapor del locomóvil es liberado en la atmósfera de un domo geodésico que sirve de invernadero y confina el vapor de agua.

Además este domo ofrece sombra en verano a la casa para disminuir el consumo de aire acondicionado en verano y disminuir la pérdida de calor por viento en el invierno. En el piso del domo se ha dispuesto una laguna que recibe el CO<sub>2</sub> del horno de biomasa. Este gas es empleado para que las plantas del invernadero lo consuman por fotosíntesis, y además para que algas crezcan en la laguna. Estas algas (sembradas) son de especies que generan alto contenido de aceite y sirven para nutrir el horno de biomasa.

La luz solar provoca la evaporación del agua de esta laguna y por condensación en las paredes del domo se obtiene agua sin arsénico para consumo humano y animal. También

puede usarse para el cultivo hidropónico de hortalizas y vegetales que en estas condiciones podrían llegar a producir hasta dos cosechas por año.

Como puede verse este es un sistema altamente retroalimentado y con cierto grado de complejidad. Optimizar cualquiera de las variables de operación implicaría vigilar no romper ninguna de las restricciones que garantizan el equilibrio.

Para cada eslabón de la compleja cadena es necesario establecer un previo análisis de la función de transferencia. Esto es sencillo y conocido para casos como el del horno o la máquina de vapor, en los que existen tablas y algoritmos probados para lograr los balances de energía y masa que dominan su operación. Por otro lado no es tan simple en casos como el de la bioalga y la economía energética que la sombra del domo aporta en verano.

Antes de pasar al planteo de la formulación matemática del problema a optimizar se expondrá algunos ejemplos de cómo se ha trabajado la optimización en el caso del domo. Por una cuestión de espacio no se expondrá la función de transferencia del alga pero si el lector lo solicita los autores podrán enviarles material respecto a ello.

## **5 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL DOMO GEODÉSICO**

Esta función de transferencia será llamada por el optimizador para determinar el comportamiento del consumo energético del hábitat según su posición relativa al domo. Se tiene en cuenta para ello la isolación que se recibe lo largo del año, las pérdidas de calor en el ducto que transporta aire húmedo y caliente en las noches de invierno desde el domo a la casa y la disminución de las velocidades de los vientos del sur. El algoritmo genético hará que la casa vaya asumiendo distintas posiciones en el terreno.

Para poder implementar el cálculo del desempeño de la solución en un estado particular o paso del algoritmo genético (que es lo que en definitiva nos da la función de transferencia), fue necesario realizar un interfaceado entre *Scilab* y *OpenStudio*. Para ello se recurrió a una pieza de software escrita en *Python*. Esta forma de trabajo está inspirada en un desarrollo de Meskini y Pion (2008) que utilizan *Sciscipy*, una API de *Scilab* a *Python*.

*OpenStudio* no habla *Python*, pero uno de sus *plugins* para *SketchUp* de *Google*, permite que por la API de *Google* en *SketchUp* se llega a recorrer el camino desde *Scilab* a *OpenStudio*. Moviendo la posición relativa de la casa respecto del domo geodésico que puede obtener cierto grado de optimización sobre al menos dos variables del problema que tratamos de resolver.



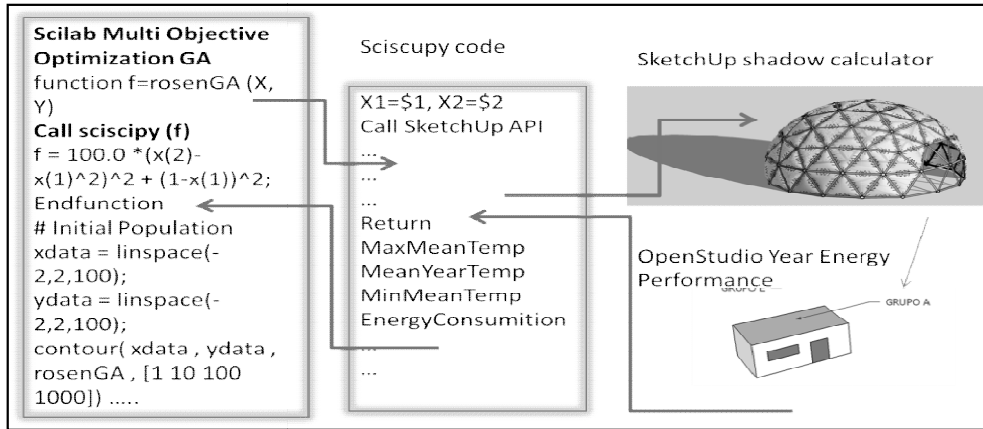


Figura 3 – Flujo de trabajo del algoritmo radiación solar  
Fuente: Elaboración propia

Con el fin de poder hacer los cálculos que necesita cada pieza de software se ha suministrado en formato de tabla (representado gráficamente en la Figura 3, estos datos de condiciones meteorológicas día por día y la dirección y longitud de sombra hora por hora. Se muestra en la Figura 4 un detalle gráfico de la información suministrada para la latitud y longitud del proyecto basado en datos del año 2010 de estaciones meteorológicas propias instaladas en la zona.

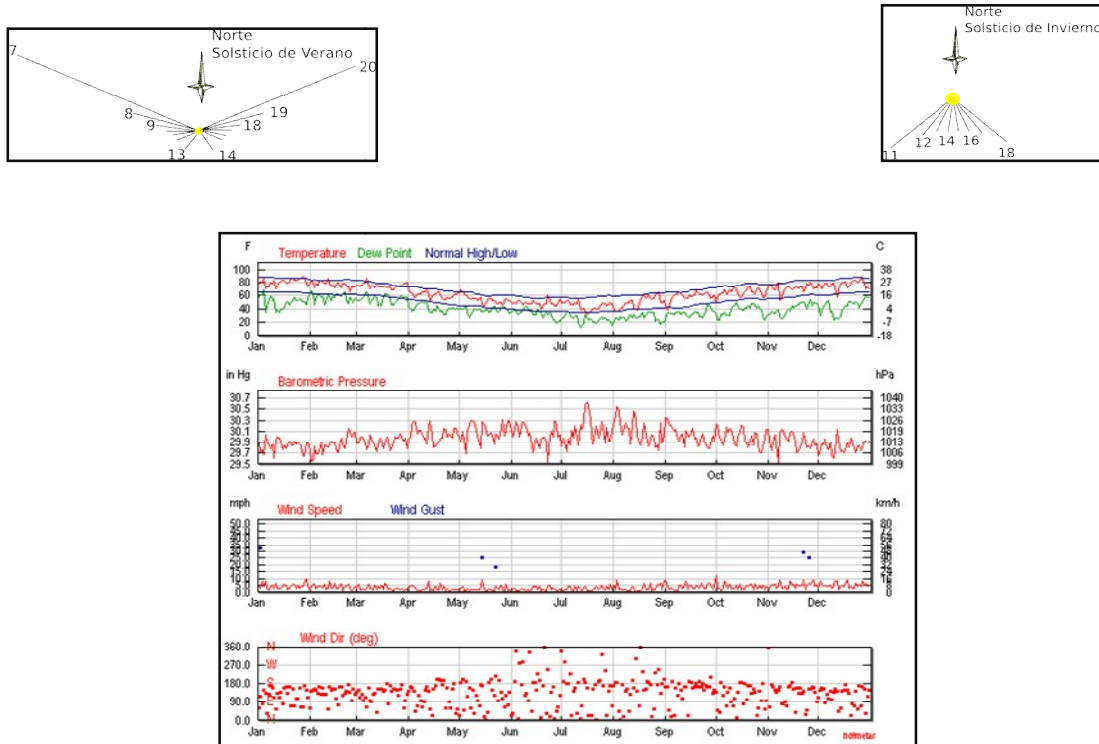


Figura 4 – Tabla de sombras y estado meteorológico  
Fuente: Graficas elaboradas en base estaciones meteorológicas propias



En la Figura 4 puede observarse la predominancia de los vientos del Sur (dirección 180°) pero la velocidad de estos vientos es baja y de ráfagas regulares. Los eventos extremos (velocidad superior a 80Km/h son del Oeste (viento Zonda). Este fenómeno extremo condiciona el dimensionamiento del domo geodésico y sus dimensiones máximas. En base a esta restricción nos da la máxima cantidad se sobra en esta estructura puede aportar el hábitat, tal como se observa en el diagrama se sombras en la parte superior del gráfico antedicho.

## **6 FORMULACIÓN MATEMÁTICA PARA LA OPTIMIZACIÓN**

Como el objetivo que se persigue es la optimización de varias variables (no solo la de confort e el hábitat) y al mismo tiempo no superar las restricciones impuestas al problema, se recurrido a ensamblar los datos en una matriz tipo Leontief (LEONTIEF, 1951, 1977, 1986).

Este tipo de análisis “*Input Output*” simplifica las relaciones de las distintas funciones de transferencia que se han mencionado y logar armar en filas lo que podemos tomar del sistema respetando, que es en definitiva lo que pretendemos optimizar, sin violar las restricciones que serán necesarias para no alterar el equilibrio del ecosistema.

En la matriz que se presenta aparecen como equivalente los outputs (filas de las actividades económicas en el modelo de Leontief) los indicadores clave de desempeño con los que se medirá la performance de los individuos del algoritmo genético.

Estas filas serán, “Energía” consumida en ambientación, cantidad de “Agua” sin arsénico obtenida por condensación en el domo geodésico, “Biomasa”, procedentes de biodiesel, biomasa de alga no trans-esterificable, y arbustos de las hortalizas y verduras cultivadas en el invernadero. “Vapor” representado por el la energía generada durante el día para cargar los acumuladores que proveerán luz en la noche y accionamiento eventual de la bomba electro sumergible, y por último CO<sub>2</sub> suministrado al invernadero para producción de bioalgas y mejorar la captura de calor solar en el domo. Se incluye también una variable “*AguaAs*” que representa el agua aportada al sistema con alto contenido de arsénico. Como en este ciclo se confina el agua en el domo para evitar la pérdida por evaporación este volumen será proporcional al agua para consumo humano que se retira del sistema.

El concentrado de arsénico que se retira periódicamente de la laguna del domo es usado para tratar postes de madera que de este modo no afectan a la vida humana ni animal.

Las columnas representan lo outputs o requerimientos que cada operación demanda de las otras y de sí mismas (diagonal principal en *gris*). La suma de estas columnas no podrá ser

mayor que el máximo de recurso que encontremos en el medioambiente o el que sea capaz de producir el equipo o artefacto destinado a tal fin (restricciones).

Por ejemplo el consumo de agua sin arsénico no podrá superar la máxima capacidad de evaporación que tiene el domo, estimada en 90 litros por día para un domo de 80m<sup>3</sup> (capaz captura una energía solar del orden de 5700 KWh).

Como puede apreciarse en la Tabla 2 la diagonal principal muestra una función de transferencia de cada instancia comparada consigo misma. Dado que cada elemento en la matriz no es otra cosa que la función de transferencia, a la que se había hecho referencia en párrafos anteriores, esto nos indica que cuanto más se acerque a cero mayor será el rendimiento de esa instancia.

Tabla 2 – Matriz de Leonitef para la optimización de las instalaciones enlazadas

	Agua	Biomasa	Vapor	CO2	Agua AS	Cons. Apar.	Saldo Export	Cons. Total
Agua	0,001	9,000	12,000	0,000	0,000	50,000		71,001
Biomasa	34,000	0,007	4,000	43,000	67,000	300,000		448,007
Vapor	12,000	34,000	0,001	0,250	3,000	15,000		64,2512
CO2	90,000	2,000	18,000	0,030	2,000	6,000		118,03
Agua AS	0,000	1,000	0,000	0,001	0,200	0,000		1,201
Hortalizas	32,000	3,000	22,000	0,250	0,000	27,000	50	134,25
Madera Trat.	0,000	0,000	13,000	0,250	57,000	0,000	150	220,25
Requerimiento	168,001	49,007	69,001	43,781	129,200	398,000	200	
Resctricción	200	79	120	60	150	400		

El rendimiento más bajo (o el mayor índice de perdidas) se observa en el CO2. La lectura de la matriz nos dice que cada unidad de anhídrido carbónico que generamos demanda 0,030 unidades. Esto nos está dando la idea que la alta neutralidad en carbono (o baja emisión de gases de efecto invernadero) que se puede conseguir al final de la optimización mostrada en la Tabla 2.

## 7 PRINCIPALES CONCLUSIONES Y APORTES

Si bien la investigación aún es preliminar y los resultados obtenidos están basado en algunos prototipos y datos “teóricos” de máquinas de vapor, el mayor aporte de este trabajo se debe observar en la posibilidad de trabajar el problema de optimización utilizando múltiples herramientas muy disimiles y que no han sido ensambladas para operar en el domino de la optimización.

Tanto el algoritmo genético de *Scilab*, como el enorme potencial que *OpenStudio* aporta para para el cálculo de las condiciones de habitabilidad y el consumo energético asociado no

podrían enlazarse para provocar la sinergia que estas dos piezas de software tienen. Afortunadamente *OpenStudio* ha dejado abierta la puerta en su *plugin* para operarlo desde la consola de *Python* de *Google SketchUp*.

Es probable que en caso de haber contado con más tiempo un grupo de ingeniería de software pudiese haber desarrollado un proyecto para desarrollar un sistema que reemplace este optimizado ensamblado “*ad hoc*”.

Sin embargo en este terreno en que múltiples instancias que tienen modelos matemáticos altamente variables, toda vez que un cambio tan grande de las condiciones de borde que imponen los climas desérticos afecta no solo los parámetros sino las ecuaciones que debemos usar, hace que la idea de desarrollar este sistema pierda interés. Por otro lado el mercado potencial para el desarrollo de experimentación en este campo de los sistemas productivos en zonas semiáridas no es de alta rentabilidad para la industria del *software*.

En la Figura 5 puede observarse como la pieza de software a localizado el domo en relación a la vivienda para generar acondicionamiento pasivo de la casa y maximizar la captura de energía para vaporizar agua y liberarla de arsénico.

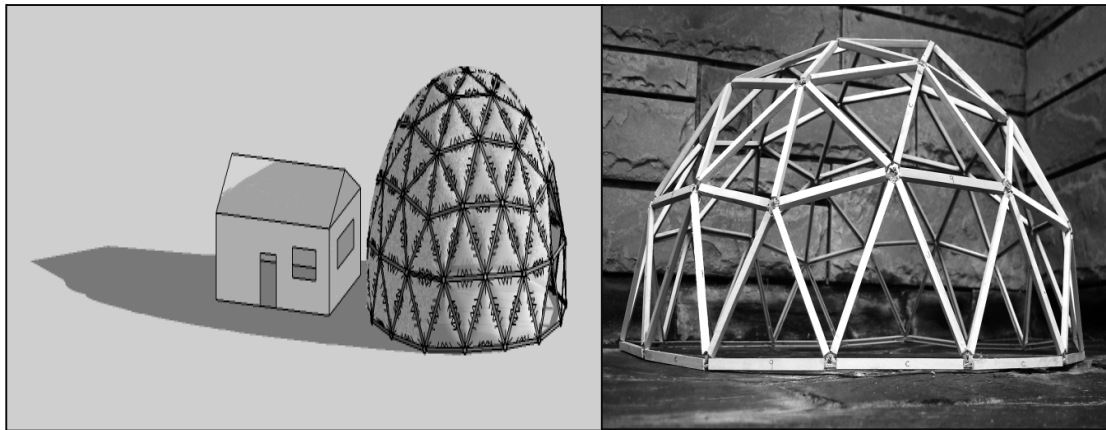


Figura 5 – Prototipo del domo utilizado y posición óptima de la vivienda respecto al domo hallada por el algoritmo genético

En la Tabla 2 se observa el resultado final obtenido después de 57 evoluciones de las generaciones del algoritmo genético. En las celdas destacadas con líneas de punto se observa el comportamiento (o desempeño) de la población promedio y en particular los saldos exportables industrializables.

Estos son los valores que se pretende maximizar, sujeto a las restricciones impuestas por el equilibrio que el ambiente impone para su sustentabilidad. En total se puede esperar un

resultado de 50 kilos de productos hortícolas más 150 kg de madera de postes tratados contra plagas y termitas.

Esto da un total de 200 kg de productos por unidad habitacional, demás de los 134 kg por año para consumo propio. En este caso el modelo de producción ha sido sustentado en la idea de hacer tomate *cherry* orgánico cultivado en forma hidropónica, pero en una instancia posterior de investigación se planea incorporar otros productos como frutos tropicales exóticos a fin de obtener mayor rentabilidad.

Por último se señala que este segundo trabajo presentado sobre la incipiente industrialización sustentable en las zonas semiárida del planeta ha comenzado ha ser in terreno próspero para la investigación científica con alta posibilidad de transferencia a un medio que reclama la presencia de la academia para su evolución.

## 8 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA

Se pretende trabajar en el futuro sobre los excedentes energéticos que estas comunidades aisladas están generando poco a poco. Los autores del trabajo pretenden contactar a otros investigadores localizados en zonas semiáridas para validar el modelo y trabajar sobre el impacto que los medidores de energías inteligentes, así como las denominadas redes inteligentes de energía (*Smart Grid*) pueden tener en estas comunidades. En especial se trabajará sobre la necesidad de establecer un modelo de gobernanza que podría representar un avance para el desarrollo sustentable de estas regiones y estimular vía tarifas la implantación de modelos conectados a la red de distribución energética regional.

## SUSTAINABLE ENERGY OPTIMIZATION ALGORITHM FOR HABITAT IN SEMI ARID AREAS OF ARGENTINA WESTERN

**ABSTRACT:** In this work a collection of computational techniques have being developed. They are used for optimize the sustainable growth of energetic crops that exists, or may be developed, in the hot dry climate desert borders. At the same time the optimization process grant the developed of other agribusiness and collaborate with de mitigation of the desertification process. Also a use of the energy exceeding is used to increase the comfort in the building and house of that region. A Leontief approach is used on top of a genetic algorithm to find the solution that grants the constraint satisfaction and the regional sustainable development.

**Keyword:** Genetic Algorithm. HVAC optimization, Sustainable Development. Hot Dry and Semi Arid Climate Zone Development.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUDIN, M.; COUVERT, V.; STEER, S. 2010. **Optimization in Scilab**. Technical report, Scilab Consortium, July 2010. Disponible en: <<http://forge.scilab.org/index.php/p/docoptimscilab>>

BROOKS, N. **Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework**. Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 38, 2003. Disponible en: <<http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/wp38.pdf>>.

CRAWLEY, Drury B. et al. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 4, p. 319-331, 2001.

GUGLIEMETTI, R.; MACUMBER, D.; LONG, N. OpenStudio: an Open Source Integrated Analysis Platform. **In**: Conference Paper NREL/CP-5500-51836, Sydney, Australia, november 14-16, 2011.

JUDKOFF, R.; WORTMAN, D.; CHRISTENSEN, C.; OTDOHERTY, B.; SIMMS, D. Comparative study of four passive building energy simulations: DOE-2. 1, BLAST, SUNCAT-2. 4, DEROB-III. **In**: Proc. Annual Meet.-Am. Sect. Int. Sol. Energy Soc.; (United States) 5 (CONF-801016-(Vol. 1), Amherst, Massachusetts, 1980.

LEONTIEF, W. **Essays in Economics**. M.E. Sharpe, 1977.

LEONTIEF, W. **Input-output economics**. Oxford University Press, USA, 1986.

LEONTIEF, W. **The structure of American economy, 1919-1939**: an empirical application of equilibrium analysis. Oxford University Press New York, 1951.

MESKINI, S. LORIOT, N.; PION, S. **Python, Scilab and Ipe interfaces to CGALACS**. Report INRIA, 2008

PENG, Z.; MA, L. **The present and future of Scilab's engineering application**. Claude Gomez Hangzhou, v. 61, Aug. 29, 2006.

PHOCAIDES, Andreas. **Handbook on pressurized irrigation techniques**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2007.

Originais recebidos em: 17/09/2012

Aceito para publicação em: 12/12/2012