

AUTOR: FERNANDO FERNÁNDEZ GAY.

TÍTULO: DISEÑO DE SISTEMAS DE CALEFACCIÓN EN INVERNADEROS
MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES.

FECHA/CONVOCATORIA: 30 DE SEPTIEMBRE DE 2011.

DIRECTOR: DIEGO LUÍS VALERA MARTÍNEZ.

MASTER OFICIAL INTERUNIVERSITARIO

**REPRESENTACIÓN Y DISEÑO EN
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

TRABAJO FIN DE MASTER

**DISEÑO DE SISTEMAS DE
CALEFACCIÓN EN INVERNADEROS
MEDIANTE ENERGÍAS
RENOVABLES**

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



Fernando Fernández Gay

Curso 2010-2011

Director:

Diego Luís Valera Martínez

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS.	7
2.1.- EL PORQUÉ DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	7
2.2.- SITUACIÓN EN ESPAÑA Y ANDALUCIA.	10
2.2.1.- ESPAÑA.....	10
2.2.2.- ANDALUCÍA.....	12
2.3.- TIPOS DE FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE.	18
2.3.1.- ENERGÍA EÓLICA	18
2.3.2.- ENERGÍA HIDRÁULICA.....	19
2.3.3.- ENERGÍA SOLAR.	20
2.3.4.- ENERGÍA PROCEDENTE DE LA BIOMASA.....	21
2.4.- VARIABLES A CONTROLAR EN UN INVERNADERO.....	24
2.4.1.- TEMPERATURA.....	24
2.4.2.- HUMEDAD DEL AIRE.	25
2.4.3.- RADIACIÓN SOLAR.....	26
2.4.4.- ANHÍDRIDO CARBÓNICO.....	28
3. RESULTADOS.	30
3.1.- ENERGÍA SOLAR.....	30
3.2.- COMBUSTIÓN VEGETAL.	41
3.3.- ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	48
3.4.- ENERGÍA EÓLICA.....	49
3.5.- ENERGÍA COMPUESTA.	52
4. DISCUSIÓN.	56
5. CONCLUSIONES.	58
6. REFERENCIAS.	59

RESUMEN.

Uno de los grandes problemas que atañe a la actual sociedad es el consumo de energía y su dependencia de los combustibles fósiles. Los problemas que genera este tipo de combustibles son principalmente dos medioambiental y económico y la solución pasa por la transición de las energías convencionales a las energías renovables.

En este trabajo se muestra el panorama actual energético en España y Andalucía tanto en energía convencional como en renovable, centrándose principalmente en el sector agrícola y comparándolo con el resto, así como alternativas en la calefacción de invernaderos para combinar calefacción con energías producidas con combustibles fósiles y energías renovables, dentro de este último grupo englobamos a las energías de origen solar, eólica, geotérmica y procedente de la biomasa.

Actualmente el sector agrario ocupa el 50% del territorio español y andaluz con unas emisiones de gases de efecto invernadero del 18.03%, es por ello que es vital buscar una alternativa energética, y esta pasa por las energías renovables.

En el documento se citan varios trabajos realizados por diversos investigadores en el que se exponen casos reales en los cuales se combina el uso de ambos energías dando resultados positivos desde el punto de vista ambiental, llegando a evitar la emisión de 3.000 tep a la atmósfera en algunos casos y desde el punto de vista económico produciendo un ahorro en los agricultores debido al menor coste de este tipo de combustibles y a su estabilidad en el precio.

PALABRAS CLAVE.

Energía renovable, combustible fósil, invernadero, calefacción, ahorro energético y medio ambiente.

ABSTRACT.

One of the major problems that concerns the present society is the consumption of energy its dependence on fossil fuels. The problems that generate this kind of fuels are two mainly environmental and economic. The solution is the transition from conventional to energy.

This essay shows the current scene of energy in Spain and Andalusia in both conventional and renewable energy, focusing mainly on agriculture and comparing it with the rest, alternatives in the heating of to combine heating produced by fossil fuels and renewable energies. Within this group we include the energy from solar, wind, geothermal and biomass origin.

At present, the agricultural sector occupies 50% of the Spanish and Andalusia with emissions of greenhouse gases of 18,03%. Because it of that is vital to seek an alternative energy and the answer can be renewable energy.

This essay names several pieces work carried out by researchers in which real cases are shown in which the usage of both energies are combined with positive results from the environmental point of view; preventing the emission of 3.000 ton into the atmosphere, in some cases and from the economic point of view it produces for formers some saving due to a lower cost for this kind of fuel and its stability in the price.

KEY WORDS.

Renewable energy, fossil fuel, greenhouse, heating, energy saving and environment.

1. INTRODUCCIÓN.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía, éstas serían las energías renovables.

En conjunto con lo anterior se tiene también que el abuso de las energías convencionales actuales hoy día tales como el petróleo, la combustión de carbón entre otras acarrearán consigo problemas de agravación progresiva como la contaminación, el aumento de los gases invernadero y la perforación de la capa de ozono.

La discusión energía renovable/convencional no es una mera clasificación de las fuentes de energía, sino que representa un cambio que necesariamente tendrá que producirse durante este siglo. Por tanto, incluso aunque podamos realizar la transición a estas nuevas energías de forma suave y gradual, tampoco van a permitir continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento perpetuo. Es por ello por lo que surge el concepto del Desarrollo Sostenible.

El conjunto de todos estos factores da lugar a la necesidad de pasar dicha transición de energías convencionales a energías renovables y este cambio también se tiene muy presente en la horticultura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1.- EL PORQUÉ DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES.

El modelo de desarrollo económico actual, basado en el uso intensivo de recursos energéticos de origen fósil, provoca impactos medioambientales negativos y desequilibrios socioeconómicos que obligan a definir un nuevo modelo de desarrollo sostenible.

El concepto de desarrollo sostenible fue acuñado por el Informe Brundtland, en 1987, como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. En definitiva, el desarrollo sostenible es aquél que trata de garantizar tres objetivos principales de manera simultánea: el crecimiento económico, el progreso social y el uso racional de los recursos.

La traducción de la definición anterior a los mercados energéticos lleva a definir un modelo energético sostenible como aquél que permite satisfacer las necesidades energéticas presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, de satisfacer sus propias necesidades de energía y sin comprometer, igualmente, el acceso a la energía de determinados colectivos, grupos de población o, a nivel agregado, de los países en desarrollo. Resulta evidente que el nivel de consumo actual de los países desarrollados no permite asegurar el abastecimiento futuro de energía ni facilita el acceso a la energía de los países en desarrollo.

Los tres objetivos anteriores, que deben alcanzarse de manera simultánea, se corresponden con las tres dimensiones bajo las que debe analizarse el modelo de desarrollo para determinar si garantiza la sostenibilidad en el largo plazo: la dimensión económica —el modelo de desarrollo debe garantizar el crecimiento económico—, la dimensión social —debe garantizar el progreso social— y la dimensión medioambiental —debe garantizar la efectiva protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos.

Bajo estas tres dimensiones puede analizarse, igualmente, el modelo energético: la dimensión económica, la dimensión social y la dimensión medioambiental. Cabe señalar, en este sentido, algunas relaciones entre el consumo de energía, desarrollo económico y progreso social, y algunos de los principales impactos medioambientales derivados de la producción y consumo de energía.

Las energías renovables contribuyen decisivamente a la garantía del suministro energético a largo plazo ya que son fuentes energéticas autóctonas e inagotables. La excesiva tasa de dependencia energética exterior de nuestro país (cercana al 80% en los últimos años) y de la Unión Europea en su conjunto (en tasas del orden del 50%) provoca riesgos macroeconómicos derivados de posibles restricciones de la oferta de petróleo por parte de los

países productores. El recurso a las energías renovables permite reducir la dependencia energética exterior contribuyendo a asegurar el suministro futuro.

El crecimiento económico es condición necesaria, aunque no suficiente, para asegurar el progreso social. El acceso a la energía en condiciones adecuadas de calidad y precio para toda la población es un requisito necesario para la garantía del bienestar social. No obstante, el acceso a la energía en condiciones de precio adecuadas no resulta posible a largo plazo en un modelo energético poco diversificado y excesivamente dependiente del petróleo. De nuevo, las energías renovables constituyen una opción eficiente de garantía de la oferta energética en el largo plazo.

Por otra parte, la contribución a la creación de empleo y a la mejora de la competitividad industrial de las energías renovables es una razón adicional que apunta a la necesidad de potenciar las políticas de fomento de estas energías para asegurar, a largo plazo, el crecimiento económico.

La creación de empleo derivada de las inversiones en producción y nuevos aprovechamientos de recursos energéticos de origen renovable se localiza, especialmente, en zonas rurales y dispersas —las inversiones y el empleo se localizan allí donde se localiza el recurso—, por lo que puede afirmarse que las energías renovables contribuyen a la ocupación equilibrada del territorio y al desarrollo rural. En el caso de la biomasa, los nuevos cultivos energéticos permitirán la recuperación de tierras agrícolas abandonadas.

Por último, y no por ello menos importante, las energías renovables posibilitan la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y, por lo tanto, la reducción de los daños derivados del cambio climático. Los daños medioambientales que se derivan del cambio climático tienen carácter global y en consecuencia afectan a toda la población (y no sólo a aquella que se localiza en las proximidades de los centros de producción y consumo de energía); y afectan, no sólo a la generación presente, sino a las futuras generaciones.

Más del 75% de las emisiones de los seis gases de efecto invernadero contemplados por el Protocolo de Kioto tienen origen energético (concretamente, el 78% de acuerdo con los datos del inventario de emisiones correspondiente al año 2002 publicado por el Ministerio de Medio Ambiente). Pero con ser importante, el cambio climático no es el único impacto medioambiental negativo derivado del uso creciente de fuentes energéticas no renovables. La generación eléctrica en plantas de carbón, fuel o gas natural produce la emisión a la atmósfera de compuestos contaminantes diversos, óxidos de azufre, de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, responsables de diferentes daños medioambientales: acidificación, disminución de la capa de ozono —por emisión de halones o CFC's de los sistemas que utilizan fuelóleo—, eutrofización de las aguas de los ríos, niebla fotoquímica y contaminación por emisión de sustancias carcinógenas. Estos impactos sobre el medio ambiente provocan el deterioro de los ecosistemas naturales y la pérdida de biodiversidad, además de daños sobre la salud humana, por lo que, en última instancia, de nuevo, producen un deterioro del bienestar social.

Los impactos medioambientales del sistema energético son múltiples y una consecuencia no deseada de la utilización intensiva de combustibles fósiles. Los impactos medioambientales derivados de la producción y consumo de energías renovables son de dos tipos: aquellos impactos medioambientales positivos que se definen por evitar los impactos negativos producidos por las fuentes energéticas a las que sustituyen y aquellos impactos medioambientales producidos por el consumo o la producción de energías renovables.

Entre los primeros las energías renovables limitan el impacto de los sistemas energéticos sobre el cambio climático y, por lo tanto, contribuyen tanto más cuanto mayor sea el porcentaje del consumo y producción de energía primaria no renovable sustituido por fuentes renovables.

Entre los primeros también, las energías renovables contribuyen a la reducción de otros impactos globales resultado de la producción energética o por procesos de combustión de fuentes fósiles. Las emisiones de SO₂, NO_x y partículas están en el origen de determinados impactos de ámbito global, como la lluvia ácida o el aumento del ozono troposférico. En el origen de la reducción del ozono estratosférico, se encuentra también un variado grupo de compuestos emitidos durante los procesos de combustión de fuentes fósiles.

La evaluación de los impactos medioambientales de cualquier producto debe realizarse considerando todas las etapas del ciclo de vida del mismo. Esta afirmación sirve también para la evaluación de los impactos medioambientales de la producción de un kilovatio/hora. Los impactos medioambientales de la generación eléctrica son muy diferentes según sea la tecnología utilizada e, incluso, susceptibles de ser evaluados en términos económicos: los impactos sobre la salud o las actividades productivas derivados del aumento de la concentración de contaminantes en el medio atmosférico, sobre la capa de ozono o el calentamiento global, son diez veces superiores en una planta que utiliza carbones que en una planta de ciclo combinado de gas natural y del orden de 6020 veces superiores, si se compara la generación de 1 kilovatio/hora en una planta de carbón con la generación de 1 kilovatio hora en un parque eólico. La generación de origen hidroeléctrico, en pequeñas centrales de potencia menor o igual a 10 MW, provoca los menores impactos.

Finalmente, en relación con los impactos medioambientales producidos stricto sensu por el consumo o la producción de energías renovables, hay que considerar los posibles impactos paisajísticos asociados a la explotación de determinadas instalaciones de producción eléctrica con fuentes renovables.

2.2.- SITUACIÓN EN ESPAÑA Y ANDALUCIA.

2.2.1.- ESPAÑA.

España mantiene desde hace tres lustros un notorio crecimiento del consumo de energía y de la intensidad energética. Nuestra creciente y excesiva dependencia energética exterior — cercana al 80% en los últimos años— y la necesidad de preservar el medio ambiente y asegurar un desarrollo sostenible, obligan al fomento de fórmulas eficaces para un uso eficiente de la energía y la utilización de fuentes limpias. Por tanto, el crecimiento sustancial de las fuentes renovables, junto a una importante mejora de la eficiencia energética, responde a motivos de estrategia económica, social y medioambiental, además de ser básico para cumplir los compromisos internacionales en materia de medio ambiente.

Factores socioeconómicos: competitividad, empleo y desarrollo regional.

El grado de madurez tecnológica en el sector de las energías renovables es alto, especialmente, para las tecnologías eólica, minihidráulica, solar térmica y para los sistemas de combustión de productos derivados de la biomasa. El dinamismo del sector de las energías renovables es un factor de competitividad para España, que se ha convertido en un referente mundial del aprovechamiento de las fuentes de energía renovable con empresas que abastecen, no sólo al mercado español, sino a los mercados exteriores.

Evolución del consumo y la intensidad energética en España.

La evolución de los precios del petróleo y la distribución de las reservas de energía han venido condicionando las opciones energéticas de los países desarrollados desde hace tres décadas. Más recientemente, las preocupaciones ambientales y el proceso de liberalización del sector de la energía, en el que Europa se encuentra inmersa, caracterizan el nuevo marco de referencia para la instrumentación de la política energética.

Durante las tres últimas décadas se han producido importantes cambios, tanto cuantitativos como cualitativos, en el consumo de energía, dentro de un contexto nacional e internacional sometido a profundas transformaciones.

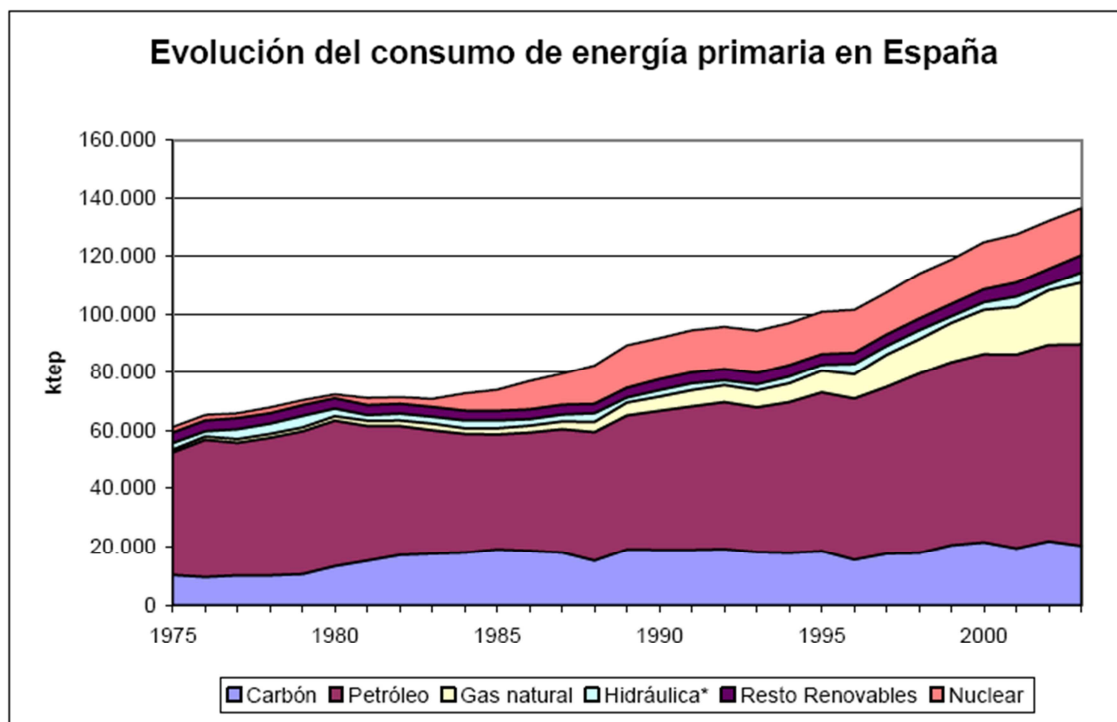


Figura 1. Evaluación del consumo de energía primaria en España. (Fuente: IDAE/Ministerio de Industria, Turismo y Comercio).

A mediados de los setenta, tras la primera gran crisis del petróleo, que puso de manifiesto la vulnerabilidad de las economías occidentales frente a cambios bruscos del precio de esta materia prima, se pusieron en marcha en la mayoría de países occidentales políticas para mejorar la eficiencia energética y reducir la dependencia del petróleo. La segunda crisis, de 1979-80, acentuó la necesidad de esas políticas, que produjeron, de forma generalizada, reducciones de la intensidad energética y una disminución del peso del petróleo en los balances energéticos. En España, a diferencia de lo que ocurrió en la mayoría de los países de la OCDE, hasta finales de los setenta no se inició una política efectiva de eficiencia energética.

Actualmente, el consumo de energía en España duplica el registrado un cuarto de siglo atrás —más de 136 millones de tep en 2003, y más de 141 millones en 2004, frente a 68 millones de tep en 1978—, y este fuerte crecimiento ha tenido variaciones significativas en los distintos periodos.

La primera mitad de los años ochenta ha sido, con mucha diferencia, el quinquenio con menor crecimiento del consumo de energía en España, habiéndose producido, incluso, durante los primeros años de ese periodo, reducciones de dicho consumo. A ello contribuyeron, la recesión económica en la que se encontraba nuestra economía desde mediados de los setenta, más severa que la sufrida por la mayoría de países occidentales, la magnitud y persistencia de los precios del petróleo, y la adopción de medidas de fomento de la eficiencia energética, en una situación con elevado potencial de ahorro y

en un marco que hacía rentable buena parte de las inversiones y cambio de hábitos en esta materia.

En la segunda mitad de los ochenta se produjo un fuerte crecimiento económico en Europa y, mayor aún en España, en un contexto de reducción de precios energéticos y entrada de nuestro país en la Comunidad Europea, dando lugar a un crecimiento medio del consumo final de energía del 3,9% anual, con un crecimiento moderado del consumo en la industria, un incremento reducido en usos diversos y un fuerte crecimiento del consumo en el sector transporte, registrando un aumento medio anual del 7,9%. En los primeros años de la década de los noventa se produjo un crecimiento suave del consumo de energía siendo a finales de los noventa superior al 4,6%.

Otro cambio importante producido en el panorama energético nacional durante las tres últimas décadas, es el relativo a la diversificación de las fuentes que abastecen nuestro consumo de energía. En 1975, España tenía una estructura de fuentes muy poco diversificada y con una enorme dependencia del petróleo, que cubría alrededor del 70% de nuestras necesidades energéticas. Actualmente, el petróleo —que sigue dominando los suministros— representa alrededor del 50% del consumo de energía primaria.

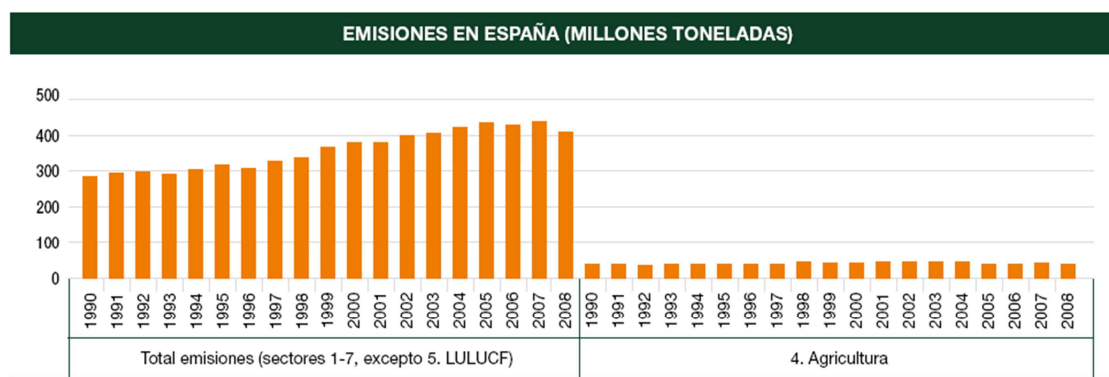


Figura 2. Agencia de Medio Ambiente Europeo. Observatorio de datos de gases de efecto invernadero.

2.2.2.- ANDALUCÍA

La actividad agraria (ya sea agrícola o ganadera) constituye el principal aprovechamiento del territorio en Andalucía y, por añadidura, un importante vínculo de relación entre su población y su territorio. Los 4,7 millones de hectáreas de superficie agraria útil (SAU) suponen el 53% del territorio de la Comunidad Andaluza. Este porcentaje es similar al que se da en el conjunto de España (50%), y sensiblemente superior al que representa la SAU sobre el territorio total comunitario (39%).

En la distribución de los usos del suelo agrario en Andalucía, el porcentaje de tierras labradas es prácticamente igual al de cultivos permanentes (en torno al

36,5%). Esta circunstancia se debe a la gran extensión del cultivo del olivo en Andalucía y, en menor medida, a otras especies frutales (almendro, cítricos). La elevada representación de los cultivos permanentes entre los aprovechamientos de los suelos agrarios andaluces es un dato que contrasta con el porcentaje de dichos cultivos en España (alrededor del 17% de permanentes frente a un 48,9% de no permanentes) y Europa (menos del 8%). Esta importante presencia de los cultivos permanentes implica una mayor inercia en el sector agrario andaluz y una menor capacidad de adaptación y reconversión ante posibles situaciones de crisis mostrando, no obstante, una mayor integración y relación con el territorio y el entorno humano donde se desarrollan. Por su parte, los pastos permanentes representan alrededor del 27,3% de la superficie agraria andaluza, estando gran parte de esta superficie catalogada dentro de la superficie forestal anteriormente citada.

Para analizar el papel que ejerce el sector agrario andaluz sobre la emisión de los denominados GEI, se analizarán dos fuentes de información fundamentales: el Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012 (PAAC) y el inventario de Emisiones Atmosféricas de Andalucía, cuya edición recoge los datos de emisiones registrados en la Comunidad Autónoma durante 2005.

Comenzando por el primero, este plan se encuadra dentro de la Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático, y su Programa de Mitigación supone la respuesta concreta y adicional del Gobierno andaluz a la urgente necesidad de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero, de forma más acelerada, al tiempo que se amplía nuestra capacidad de sumidero de estos gases. En este documento se analizan las emisiones correspondientes al territorio de Andalucía a partir de la información presentada en el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España del Ministerio de Medio Ambiente. Dicho análisis se realiza a nivel autonómico y comparando con los datos de España para establecer en qué situación se encuentra Andalucía en el contexto nacional.

Así, según esta fuente, las emisiones de los sectores industriales y eléctricos suponen aproximadamente la mitad del total de las emisiones del GEI en Andalucía y en España. La otra mitad se corresponde con las denominadas “fuentes difusas”, las cuales comprenden los siguientes grupos de actividad:

- Plantas de combustión no industrial.
- Extracción y distribución de combustibles fósiles.
- Uso de disolventes (excepto usos domésticos).
- Transporte en carretera.
- Otros transportes.
- Tratamiento y eliminación de residuos.
- Agricultura.
- Otras fuentes.

Frente a las anteriores, que incluyen las grandes instalaciones de GEI (centrales térmicas, cementeras, refinerías, ...) y que son aproximadamente 200 en Andalucía, las difusas son millones de fuentes. Desde cada vehículo del parque móvil andaluz a los miles de explotaciones agrícolas y ganaderas y las instalaciones térmicas de combustión en el sector residencial y servicios (como las calderas). Las cuales no se encuentran reguladas

La evolución seguida por este sector la recoge la siguiente tabla:

	1990	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Variac. 1990/2004
Combustión no industrial	2.055.603	2.258.881	2.421.694	2.407.686	2.339.956	2.373.088	2.412.250	3.011.380	46,50%
Explotación combustibles fósiles	61.410	90.799	89.888	89.092	131.983	154.035	132.735	79.960	30,21%
Disolventes	202.654	400.001	522.196	617.715	677.464	747.519	815.826	906.160	347,15%
Transporte en carretera	6.782.069	10.227.130	11.265.376	11.466.934	11.986.104	12.491.970	13.338.340	13.205.660	94,71%
Otros medios de transporte	2.485.010	2.324.723	2.530.403	2.580.324	2.742.913	2.818.875	2.929.625	2.311.210	-6,99%
Residuos	930.486	1.542.906	1.613.633	1.646.750	1.717.287	1.785.196	1.855.951	2.025.240	117,65%
Agricultura	4.942.077	5.097.761	5.368.697	5.519.086	5.305.386	5.355.020	5.873.710	5.182.190	4,86%
Otros	1.241.636	1.214.503	1.324.861	1.361.397	1.324.057	1.319.084	929.106	2.027.900	63,32%
Fuentes difusas	18.700.945	23.156.704	25.136.748	25.688.984	26.225.150	27.044.787	28.287.543	28.749.700	53,73%

Tabla 1. Evolución de emisiones GEI procedentes de las fuentes difusas (tCO₂*eq). Fuente: PACC 2007-2012, elaboración a partir de los datos del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España del Ministerio de Medio Ambiente sin considerar LULUCF (uso del suelo, cambio de uso del suelo y forestal). CMA, 2007.

Estos sectores no tienen la regulación de los anteriores, por lo que es previsible que, de no tomar medidas, el crecimiento de las emisiones de GEI en los sectores correspondientes a fuentes difusas supere los ahorros previsibles en las fuentes puntuales, pues son precisamente el transporte por carretera y los residuos (dos de los sectores cuantitativamente más importantes) los que presentan mayores niveles de crecimiento de los últimos años. Frente a estos sectores, la agricultura y otros medios de transporte han presentado una cierta estabilización.

Analizando el desglose de gases y su contribución en el conjunto de emisiones de GEI para Andalucía, el resultado se muestra en el siguiente gráfico:

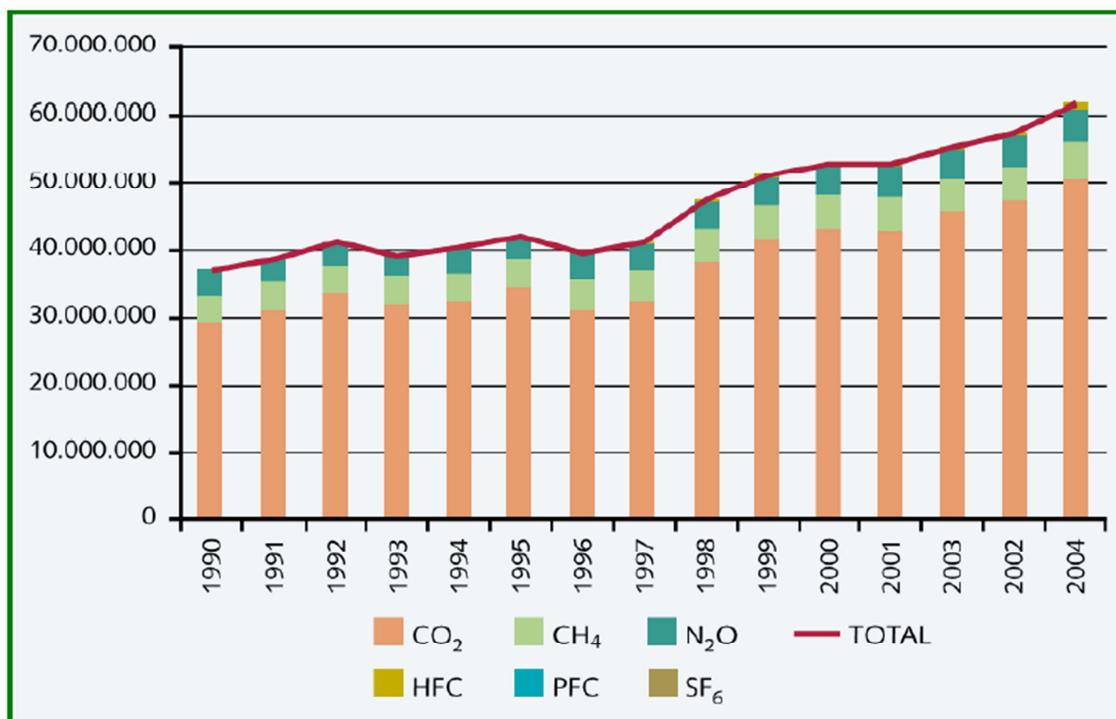


Figura 3. Contribución por gases a las emisiones de GEI en Andalucía (tCO₂-eq). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España del Ministerio de Medio Ambiente sin considerar LULUCF (uso del suelo, cambio de uso del suelo y forestal). CMA 2007.

A la vista del gráfico anterior, en el año 2004, para el conjunto de Andalucía y considerando todos los sectores de actividad, se emitieron 61.844.650 tCO₂-eq, de las cuales un 82,37% proceden exclusivamente del CO₂.

Considerando sólo las fuentes difusas, adquieren algo más de importancia el resto de GEI, ya que muchas actividades consideradas como fuentes difusas (ganadería, agricultura, tratamiento de residuos, etc.) son responsables de una buena parte de las emisiones de otros gases como el N₂O y el CH₄.

Así, en el año 2004, para el conjunto de Andalucía y considerando sólo las fuentes difusas, se emitieron 28.749.690 tCO₂-eq, de las cuales un 63,88% procederían exclusivamente del CO₂ un 15,43% procederían del N₂O, un 18,29% del CH₄; el resto (2,39%) se reparten entre los otros GEI (SF₆, HFC, PFC).

En el siguiente gráfico se muestra la evolución de la serie de emisiones de GEI en Andalucía desde 1990 a 2004, para los distintos grupos de actividad considerados en el inventario nacional de emisiones de GEI:

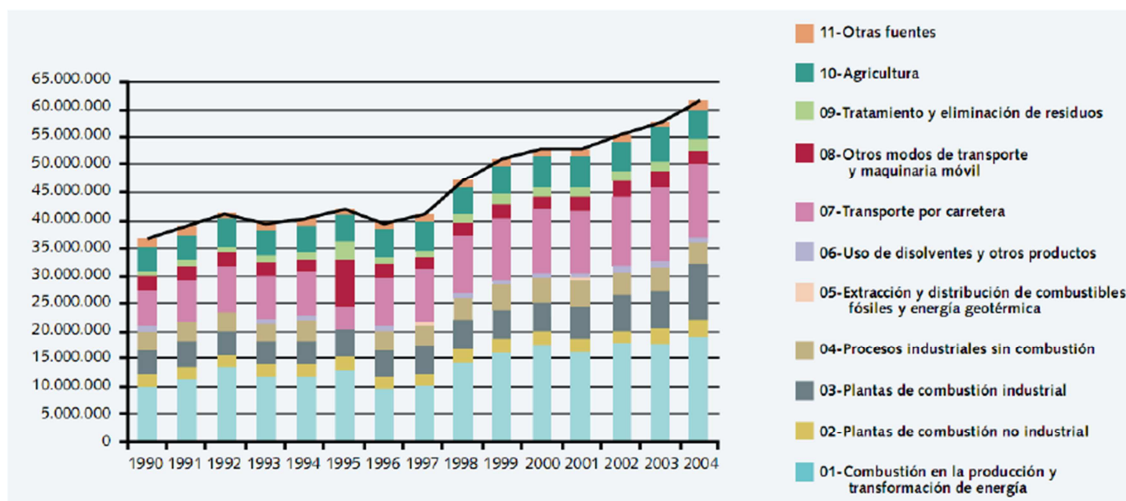


Figura 4. Evolución de las emisiones por grupos de actividad. Andalucía (tCO₂-eq). Fuente: PAAC 2007-2012, elaboración realizada a partir de los datos del Inventario de Emisiones sin considerar LULUCF (uso del suelo, cambio del suelo y forestal). CMA, 2007.

Según el gráfico anterior, las actividades cuantitativamente más importantes en relación con las emisiones GEI son el sector de la producción y la transformación de energía (31%) y el transporte (21%). Las actividades procedentes de la agricultura equivalen al 8% de las emisiones de GEI.

Si nos centramos ahora en el balance de emisiones procedentes de fuentes difusas, en el año 2004 para el conjunto de Andalucía:

El sector del transporte general representa 53,97% del total de emisiones difusas andaluzas (un 45,93% del transporte por carretera y un 8,04% para otros modos de transporte).

La agricultura supone un 18,03% del total de emisiones en fuentes difusas (N₂O y CH₄ que proceden principalmente de cultivos con fertilizantes, fermentaciones en explotaciones ganaderas, gestión de estiércol, etc.). Sin embargo, se ha apreciado que en los últimos años su importancia en el conjunto de las fuentes difusas ha sido cada vez menor (en 1990 la agricultura representaba el 26,72% de las emisiones en las fuentes difusas, y en el año 2004 ha pasado a ser el 18,03%). Este hecho viene motivado por las medidas que ya están en marcha en relación con la gestión de residuos agrícolas, ganaderos, agricultura ecológica, cambios de uso de la tierra, etc.

El resto de emisiones se reparten sobre todo en las plantas de combustión no industrial, con los sectores residencial, comercial e institucional, y en el tratamiento de residuos.

Atendiendo ahora al último inventario de gases de efecto invernadero efectuado en Andalucía (recogido en el Inventario de Emisiones Atmosféricas de Andalucía 2005), la tabla siguiente muestra las emisiones de GEI en

Andalucía y su contribución al efecto invernadero en términos de CO₂ equivalente:

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PFC	HFC	SF ₆
Emisiones totales (t)	56721004	228202	16042	2,57	353	1,52
Contribución al efecto invernadero (t equivalentes de CO ₂)	56721004	5248638	4748382	22108	458898	33789
Contribución al efecto invernadero (%)	84,4	7,81	7,06	0,03	0,68	0,05

Tabla 2. Emisiones GEI en Andalucía 2005. Fuente: CMA, 2008.

Como se puede observar, el CO₂ es el principal GEI, tanto cuantitativamente, como en términos de contribución al efecto invernadero, seguido a gran distancia por CH₄ y N₂O y en menor medida por HFC, SF₆ y PFC.

Si nos centramos en el sector agrario, los datos arrojados por el inventario son los siguientes:

	CO ₂ (Kt)	CH ₄ (t)	N ₂ O (t)	HFC (kg)	PFC (kg)	SF ₆ (kg)
Agricultura (incluye maquinaria agrícola)	1444	5740,4	6806,2	-	-	-
Ganadería	-	113552	811	-	-	-
Total emisiones (GEI Andalucía 2005)	56721	228202	16042	352999	2571	1522

Tabla 3. Emisiones del sector agrario en Andalucía, año 2005. Fuente: CMA, 2008.

A las vista de los datos tabulados, tal y como se ha explicado anteriormente, se confirma la importante contribución del sector agrario andaluz en la emisión regional de los GEI: CH₄ (un 50% debido a fuentes ganaderas) y N₂O (donde la agricultura supone el 42% del total emitido). Sin embargo, la cantidad de CO₂ aportada por este sector respecto al total resulta insignificante (un 2,5%).

2.3.- TIPOS DE FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE.

Se denomina fuentes de energía a todos aquellos elementos y recursos naturales capaces de generar energía. En este sentido y en función de su inagotabilidad las fuentes de energía se clasifican en:

Fuentes de energía no renovables. Corresponden a aquellas cuyas reservas son limitadas y, por lo tanto, disminuyen a medida que las utilizamos: por ejemplo, el petróleo o el carbón. A medida que las reservas se van gastando aumenta el coste de la extracción (energía de los combustibles fósiles y energía nuclear).

Fuentes de energía renovables: son aquellas fuentes procedentes de cualquier proceso que no altere el equilibrio térmico del planeta, que no genere residuos irre recuperables y que su velocidad de consumo no sea superior a la velocidad de regeneración de la fuente energética de la materia prima utilizada del mismo. En este apartado se realiza una definición general de las diferentes fuentes de energía limpia.

2.3.1.- ENERGÍA EÓLICA

Generalmente cuando hablamos de energía eólica pensamos en los cada vez más abundantes parques eólicos que se encuentran distribuidos a lo largo del paisaje. Sin embargo, existen otras infraestructuras distintas para aprovechar la energía del viento. La microgeneración eólica o aerogeneradores de eje vertical, los parques situados mar adentro u off-shore, y los diseños innovadores como son la generación de energía por medio de cometas y el aprovechamiento de la vibración generada por el viento por medio del Windbelt, son otras formas de infraestructura por las que se apostará en el futuro.

La producción de este tipo de energía se debe a que la masa de aire en movimiento es energía cinética que puede ser transformada en energía eléctrica. Al incidir el viento sobre las palas de una aeroturbina se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve a su vez un generador para producir electricidad.



Figura 5. Aerogenerador vertical, Parque eólico de Uruguay.



Figura 6. Microaerogenerador.

2.3.2.- ENERGÍA HIDRÁULICA

Actualmente, el uso más común de la fuerza hidráulica es la producción de energía eléctrica.

La conversión de energía cinética a energía eléctrica se consigue al pasar el agua por un salto. El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación es transferido mediante un eje a un generador de electricidad. En el

aprovechamiento de la energía hidráulica influyen dos factores, el caudal y la altura del salto para aprovechar mejor el agua llevada por los ríos.



Figura 7. Central hidroeléctrica, Río Lempa (El Salvador).

2.3.3.- ENERGÍA SOLAR.

El sol actúa como un gigantesco reactor nuclear en el que la masa se transforma en energía luminosa constantemente, por ello constituye una de las fuentes de energía más formidable de nuestro planeta. El origen de la energía solar se encuentra en las reacciones nucleares que se producen en el seno del Sol, mediante las cuales dos átomos de Hidrógeno se fusionan generando un átomo de Helio dando lugar a una gran cantidad de energía.

La energía solar es la energía contenida en la radiación solar que es transformada mediante los correspondientes dispositivos, en forma térmica o eléctrica, para su consumo posterior allá donde se necesite. El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar, pudiendo ser de dos clases: captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos.

Existen dos vías principales para el aprovechamiento de la radiación solar:

- Energía Solar Termoeléctrica.



Figura 8. Colectores solares de la empresa Solyndra, probados en Italia y en la Universidad de California.

- Energía Solar Fotovoltaica.



Figura 9. Invernadero multicapilla de techo mixto diseñado con placas fotovoltaicas.

Una central termoeléctrica es un sistema capaz de generar energía eléctrica a partir de energía térmica mediante lo que se conoce como ciclo de potencia, y para poder desarrollar este ciclo se necesita una fuente de energía primaria a partir de la cual obtener la energía térmica necesaria. Una central solar termoeléctrica no genera electricidad directamente a partir de la radiación solar, sino que transforma esta radiación en energía térmica que es aportada por un ciclo de potencia convencional y éste transforma esa energía en energía mecánica. Posteriormente, mediante un generador eléctrico se transforma la energía mecánica en eléctrica, siendo ésta última la que se conecta a la red eléctrica y llega a los puntos de consumo.

La energía solar fotovoltaica se basa en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica, mediante el empleo de unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores.

2.3.4.- ENERGÍA PROCEDENTE DE LA BIOMASA

Bajo la denominación genérica de biomasa, se incluye todo un conjunto muy heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza, comprendiendo productos de origen vegetal, animal o microbiano. Esta energía está basada en la utilización energética de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivados de ésta.

La biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético y acumulada en los enlaces de las moléculas orgánicas

que forman su biomasa. Esta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dando como productos finales anhídrido carbónico y agua. Por este motivo, los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan biocombustibles, pudiendo ser, según su estado físico, biocombustibles sólidos en referencia a los que son utilizados básicamente para fines térmicos, biocombustibles gaseosos y biocombustibles líquidos como sinónimo de los biocarbuos para automoción.



Figura 10. Caldera de biomasa.

Atendiendo al origen las fuentes de biomasa se pueden clasificar en:

Biomasa natural: la que producen los ecosistemas silvestres. El 40 % de la biomasa que se produce en la Tierra, aproximadamente, está en los océanos. En la explotación de esta biomasa cabe vigilar el hecho de no explotar los recursos por encima de la tasa de renovación del ecosistema, ya que, si así fuese, el ecosistema se vería afectado de una forma irreversible y, con él, la supervivencia de la especie en interés. Cabe tener en cuenta que la extracción de biomasa de un ecosistema natural con la finalidad de usarla como combustible significa la liberación en la atmósfera de una cantidad de carbono equivalente que hasta entonces permanecía confinada en el seno del ecosistema natural. Por este motivo, para la explotación de biomasa es preciso una planificación que sea sostenible, a fin de que el ecosistema incorpore nuevos individuos, que a la vez capturarán más CO₂ atmosférico.

Biomasa residual: la que se puede extraer de los residuos agrarios y forestales y de las actividades humanas. Las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera, generan una serie de residuos y subproductos que son utilizables como biomasa para obtener energía.

Cultivos energéticos: recibe esta denominación cualquier cultivo agrario cuya única finalidad sea proporcionar material para destinarlo a su aprovechamiento energético. Los cultivos que suelen labrar con esta finalidad se caracterizan por dos aspectos concretos. Por una parte, por su alta producción por unidad de superficie y año y, por otra, por los pocos requerimientos que exige su cultivo.



Figura 11. Combustible para caldera de biomasa (pellets de madera).

2.4.- VARIABLES A CONTROLAR EN UN INVERNADERO.

Desde un punto de vista energético, un invernadero puede considerarse como el resultado de la interacción entre un colector solar físico (estructura, cubierta plástica y suelo) y multitud de colectores biológicos individuales (las hojas de las plantas). Las condiciones ambientales dentro del colector físico pueden ser apropiadas para el crecimiento, desarrollo y producción óptimos de los colectores biológicos; sin embargo, las condiciones dinámicas del clima pueden ser poco propicias a las necesidades de las plantas, lo que implica una corrección del clima mediante el empleo de equipamientos suplementarios para crear las condiciones más favorables según criterios agronómicos.

Los cuatro factores climáticos de importancia vital en el microclima de un invernadero son: la radiación, la temperatura, la humedad y la concentración de CO₂.

2.4.1.- TEMPERATURA.

La importancia de las temperaturas es un factor limitante y estimulante de los procesos fisiológicos de los vegetales, afecta a la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso, la producción y gasto de carbohidratos, entre otros (Tognoni, 2000). Un descenso de ésta frena el crecimiento vegetativo y provoca una debilitación de la planta; por el contrario un aumento en la temperatura de 10°C permite doblar la velocidad de las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis catalizada por las enzimas, asimismo aumenta la transpiración y favorece la difusión de vapor de agua, de CO₂ y del O₂, así como la fotorrespiración (Ruíz, 1993). Una vez sobrepasado el rango óptimo para cada especie se producen pérdidas que inciden en la producción y calidad.

La temperatura es esencial para los cultivos pues influye en la mayoría de los procesos biológicos implicados en el crecimiento y desarrollo de la planta. Es el único factor que tiene un efecto directo en el poder de captación de los órganos individuales de las plantas (Bakker, 1995), por lo que es esencial en el reparto de asimilados entre los diferentes órganos de la planta.

Marcelis, (1994) comprobó que al descender la temperatura la tasa de crecimiento de frutos individuales de pepino en invernadero también descendió, provocando un aumento en la duración del período de crecimiento (desde la antesis hasta la cosecha). La temperatura no sólo influye en el tiempo de maduración de los frutos sino también en el de producción de tallos (Adams y col., 2000).

La transpiración excesiva puede provocar problemas de estrés hídrico y problemas nutricionales, como por ejemplo los relacionados con la traslocación

del calcio que provocan alteraciones en las membranas y fisiopatías de importancia como el tipburn (Peet, 1999).

La temperatura para el crecimiento óptimo es función del cultivo y el estado de desarrollo del mismo (Onsinejad y Abak, 1999). La integral térmica es una herramienta que permite relacionar la duración de un determinado estadio fenológico con sus requerimientos térmicos. Existe una equivalencia entre la dinámica de la acumulación de carbohidratos y la integral térmica lo que pone de manifiesto la importancia de la temperatura sobre el desarrollo de la planta (Tchatmitchian e loslovich, 2000). En 1994 Marcelis demostró la relación directa que existe entre incremento térmico e incremento de producción de órganos cosechables. Además observó como esta relación es aún más significativa entre incrementos de temperatura e incremento de peso seco de frutos.

Se ha comprobado también un control morfogenético asociado a las diferencias de temperatura entre el día y la noche que conduce a desarrollos diferentes del área de foliar y de la longitud internodal. A igual temperatura media diaria, la altura de la planta y el área foliar disminuyen cuando la diferencia entre temperatura del día y de la noche es negativa. También se comprueba que la temperatura mínima para el crecimiento vegetativo es inferior, en cultivos de invernadero (tomate, pepino,...) a la mínima necesaria para la floración, fructificación y cuajado del fruto, por lo que la evolución de las temperaturas influirá de forma importante en el ritmo productivo de este tipo de cultivos (Peet, 1999).

Adicionalmente, se ha verificado que las temperaturas excesivas producen pérdida de calidad en tomate, pepino y pimiento, afectando a la forma, la textura y el color. Por el contrario, las temperaturas demasiado bajas producen una textura harinosa en tomate (Schnitzler y Gruda, 2003).

Una característica que, sin embargo, resta importancia a la influencia a largo plazo del factor temperatura frente al factor radiación, es el carácter recuperable de los efectos negativos que produce un período corto de bajas temperaturas. La supresión del transporte de carbohidratos o conversión a materia seca por un descenso de temperatura mantenido durante varios días, puede ser compensada por una temperatura alta posterior (Bakker, 1995). En el caso de la radiación, por el contrario, el efecto derivado de un nivel bajo de la misma no se compensa posteriormente con niveles superiores.

2.4.2.- HUMEDAD DEL AIRE.

Cuando los niveles de humedad y déficit de presión de vapor (DPV) son moderados, entre el 55% y el 90% para la humedad y entre 0,2 y 1 kPa para el DPV, no hay efectos importantes sobre el cultivo de vegetales de alto valor y ornamentales (Peet, 1999). Bajos valores de DPV pueden ser favorables en ciertas situaciones, como por ejemplo para provocar aumentos en la presión de raíces para evitar la deficiencia de Ca en frutos de tomate y en hojas jóvenes

de lechuga, (Peet, 1999). Niveles superiores a 1 kPa pueden disminuir la conductancia foliar a la transferencia de CO₂, sobre todo en hojas jóvenes, y por tanto, disminuir la fotosíntesis (Romero-Aranda y Longuenesse, 1995). Por su parte, Montero y col., (2001) determinaron que para evitar una humectación excesiva de la planta, el déficit de presión de vapor no debería ser inferior a 1,5 kPa en las condiciones mediterráneas en verano.

El efecto sobre la fotosíntesis neta y el incremento del área foliar resultan en un incremento de la capacidad de producción potencial de la planta. Sin embargo, un régimen continuado de humedad extremadamente alta puede producir efectos adversos, frecuentemente asociados a la reducción de la tasa de transpiración al aumentar la temperatura del tejido foliar (Bakker, 1995). La humedad relativa elevada puede afectar negativamente a la producción por el aumento de los desórdenes fisiológicos (Ehret y Ho, 1986).

Valores extremos muy bajos de humedad, con DPV mayores de 2 kPa, producen tasas de transpiración elevadas y disminución de potencial hídrico en hojas con descenso de la tasa de fotosíntesis (Bakker, 1995). No obstante, se ha encontrado aclimatación de cultivo de pepino a valores en torno a 3 kPa, mantenido desde el inicio de su desarrollo (Lorenzo y col., 1997).

Además de una influencia directa en la tasa de fotosíntesis del cultivo, la humedad ambiental afecta a procesos como la absorción mineral por las raíces, la morfología de la planta (superficie foliar, ramificación, etc.) y, el balance de energía a través de la regulación de la transpiración (Bakker, 1995). Según el investigador Adams (1994) un descenso de humedad incrementa la absorción de potasio y calcio en hojas y disminuye la de calcio en frutos.

2.4.3.- RADIACIÓN SOLAR.

La radiación solar es la fuente de energía usada por las plantas en el proceso de fotosíntesis mediante el cual producen materia vegetal creciendo y desarrollándose. En sentido estricto, es apropiado describir la energía radiante como un determinante de la producción (Hernández y col., 2001).

Las hojas absorben, por término medio, entre un 80-85 % de la luz incidente de longitud de onda entre 400 y 700nm, o lo que es lo mismo, el espectro de radiación PAR (Lorenzo, 1996). La fotosíntesis se realiza con máxima intensidad entre la longitud de onda 440 y 680 nm, en la mayor parte de la radiación visible. Si están satisfechos otros requerimientos de las plantas (agua, CO₂, temperatura, nutrientes, etc.) la cantidad de materia orgánica formada para llevar a cabo la fotosíntesis dependerá de la luz fotosintéticamente activa que reciba la planta. Así, a mayor cantidad de luz más cosecha, hasta un límite que dependerá de la especie y la variedad (López, 1998).

Hoy en día, la mejora genética permite disponer de cultivares mejor adaptados para la floración y cuajado el fruto en condiciones de baja iluminación, usuales en los ciclos de invierno (Van de Vooren y col., 1986). Aung en 1976 llegó a la

conclusión de que una iluminación limitada, al reducir la fotosíntesis neta, implicaba mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción.

Una forma de maximizar la radiación en los invernaderos es utilizar un adecuado marco de plantación y disposición de las plantas que permita una mayor interceptación de la radiación por parte de ellas para aumentar la fotosíntesis para, con posterioridad y mediante técnicas de cultivo adecuadas, derivar la producción de asimilados en lo posible, a aquella parte de la planta que lo necesita en cada momento. A parte de los estudios anteriormente citados también Cockshull en 1988; Castilla en 1995 describieron la reducción lineal de rendimiento por la reducción de iluminación, en el primer caso sobre invernaderos de alto coste y en segundo en invernaderos de bajo coste tipo "parral".

La radiación solar interna depende de la forma y orientación del invernadero y de las propiedades radiométricas de la cubierta. Un invernadero transmite diferentes cantidades de energía solar a distintas posiciones (Critten, 1983).

Los invernaderos de la costa mediterránea, que principalmente cultivan en la época invernal, no alcanzan el límite de saturación lumínica en la mayor parte de los cultivos hortícolas que realizan. En localizaciones geográficas por encima de 30° de latitud, la reducción natural estacional de la radiación solar es el factor limitante más incontrolable en el crecimiento y desarrollo de la planta (Giacomelli y Ting, 1999).

En cubiertas cerradas, los procesos fotosintéticos no llegan a saturarse para intensidades PAR (Radiación fotosintéticamente activa) por encima de 2.000 $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, equivalentes a 1.000 W. m^{-2} de radiación global (Bakker, 1995). Existen también estudios que demuestran que, en el caso de superarse los niveles de saturación de la radiación, sólo afectarían a las capas superiores del cultivo manteniéndose las capas inferiores en los niveles adecuados (Peet, 1999).

Con respecto al balance de energía del invernadero, el único insumo energético durante el día en invernaderos pasivos procede de la luz. Durante la noche, la energía almacenada en el suelo es irradiada al invernadero. Por tanto, actúa como una fuente de energía empleada en el calentamiento del aire interior del invernadero resultando de gran importancia su maximización en las estaciones frías.

La distribución de los distintos espectros de radiación puede determinar, entre otras cosas, el desarrollo de ciertos órganos de las plantas frente a otros (Bakker, 1995). Una radiación escasa además conlleva una peor calidad del polen y en consecuencia una reducción de los frutos cuajados (Papadakis y col., 2000).

Se ha demostrado que la luz incluso afecta a distintos parámetros de calidad de los frutos, aumentando no sólo la producción sino la calidad de los mismos (Castilla y col., 2001).

2.4.4.- ANHÍDRIDO CARBÓNICO.

La concentración de CO₂ está relacionada con procesos como la fotosíntesis, la transpiración y el estado hídrico y la morfología de la planta. La concentración en el interior de un invernadero puede ser inferior a la exterior como consecuencia del consumo fotosintético por el dosel vegetal desarrollado. Se han llegado a registrar en invernaderos de Almería concentraciones internas con una concentración del 20% inferior a las externas (Lorenzo y col., 1990).

Este factor influye directamente en la fotosíntesis neta del cultivo y la pérdida de fijación de CO₂ por supresión de fotosíntesis al existir bajos niveles del mismo, no es compensada posteriormente (Bakker, 1995). También se ha demostrado una reducción del 50% de la resistencia estomática cuando la concentración de CO₂ del aire cae de 350 a 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ (Stanghellini y Bunce, 1993) lo que puede aumentar la susceptibilidad del cultivo al déficit hídrico.

Sería necesario, por tanto, un mecanismo que permita elevar las concentraciones de CO₂ en los invernaderos, fundamentalmente cuando la ventilación no es suficiente para mantenerlas. En invernaderos de Almería se han conseguido incrementos de producción en torno al 20% en judía manteniendo la concentración de CO₂ entre 350 y 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, y en pepino manteniéndola en torno a 700 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ (Sánchez-Guerrero, 1999). No obstante, algunos autores citan que los beneficios debidos a los altos niveles de CO₂ también se pueden reducir cuando las plantas se aclimatan a largos períodos con alta concentración (Hand, 1982). Esta aclimatación se relaciona con una acumulación de carbono no estructural en el tejido de la hoja (Kening y Kramer, 2003).

En otros casos, niveles de CO₂ elevados a largo plazo pueden causar efectos negativos en fotosíntesis (fundamentalmente si se combinan con alta radiación) al provocar descensos en el índice de área foliar (Bakker, 1995). Por todo ello, los valores recomendados están en torno a los 1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ (Kimball, 1986).

Olympios y Hanan (1992) realizaron un estudio para determinar la combinación más favorable de estos tres factores, temperatura, humedad ambiental y concentración de CO₂ para el cultivo de pepino en invernadero. Las condiciones más favorables fueron el mantenimiento de una alta temperatura (25/19°C día/noche) con una alta humedad ambiental (y por tanto un bajo DPV en torno a 0,3 kPa); Estos bajos valores de DPV permitieron mantener las ventanas cerradas durante más tiempo e incrementar la concentración de CO₂ por inyección; así se conseguía un mayor peso seco, mayor superficie foliar y mayor diámetro basal del tallo. La segunda mejor opción de factores ambientales fue la combinación de bajas temperaturas con bajos valores de humedad. Este hecho indica que lo importante no son los valores absolutos de estos dos factores sino el equilibrio entre ellos. También se comprobó que la

Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura.

Fernando Fernández Gay

Diseño de sistemas de calefacción en invernaderos mediante energías renovables.

temperatura óptima para la fotosíntesis neta aumentaba al incrementarse la radiación disponible y la concentración de CO₂.

3. RESULTADOS.

Una manera de mejorar la eficiencia energética en los invernaderos consiste en la utilización energías renovables para los procesos consumidores de energía.

Destacaremos la aplicación de los siguientes tipos de energías renovables para los invernaderos:

- Energía solar.
- Combustión de biomasa vegetal.
- Energía geotérmica.
- La energía del aire o del agua.

3.1.- ENERGÍA SOLAR.

El aprovechamiento de la energía del sol, puede conseguirse de dos maneras:

- Sin mediación de elementos mecánicos; es decir, de forma pasiva.
- Con mediación de elementos mecánicos; es decir, de forma activa.

Además se puede utilizar la energía solar para el calentamiento de los fluidos o para la generación de energía eléctrica. De esta manera tendríamos la siguiente clasificación:

- Aplicaciones térmicas solares:
 - a) Calefacción de baja temperatura o apoyo a la calefacción radiante.
 - b) Calentamiento del agua de riego.
 - c) Instalaciones de frío solar.
 - Energía solar fotovoltaica:

La energía solar activa, a su vez, puede ser de baja temperatura, media temperatura y alta temperatura, según la captación sea directa, de bajo índice de concentración o de alto índice de concentración.

Las aplicaciones de baja temperatura, realizadas con colectores planos vidriados, los conocidos como paneles solares, son las más extendidas comercialmente.

Respecto a las aplicaciones térmicas solares, el manejo del clima vuelve a ser determinante para un óptimo desarrollo de los cultivos. Es la principal herramienta de defensa contra plagas y enfermedades, así como para proporcionar el adecuado medio de desarrollo y crecimiento.

Todo cultivo tiene un cero vegetativo por debajo y por encima del cual la planta no crece, luego la misión de los semilleros es mantener los cultivos lo más cercanos posible a las temperaturas óptimas de crecimiento.

En estos casos, las superficies invernadas aplicadas a la producción de plántulas deben de estar preparadas para ello (altura, volumen de aire, control de clima, etc).

Vox y col., (2008) realizaron otra investigación sobre colectores térmicos solares para su utilización en invernaderos. El objetivo de la investigación fue evaluar el potencial del sistema en términos de producción de energía, almacenamiento y utilización.

Para ello emplearon una superficie de 12 m² de colectores de placa plana para la captación de energía solar térmica, un tanque térmico para el almacenamiento del agua caliente, circuladores, tuberías de plástico para la calefacción y una unidad de control electrónico.

La prueba fue realizada en la granja experimental de la Universidad de Bari, al sur de Italia, en un invernadero con techo en arco de acero, cubierto con una película de plástico, sobre un cultivo sin suelo de tomates.

Realizaron diversas mediciones empleando un registrador de datos y sensores. Así, pudieron analizar variables como la radiación solar incidente en los colectores, la temperatura del aire sobre la superficie cultivada calefactada, la temperatura media de crecimiento y la temperatura del agua en el interior del tanque de almacenamiento.

Los resultados del experimento mostraron que alrededor del 40% de la radiación solar incidente se transfirió en forma de calor para el cultivo, obteniéndose un aumento del 28% de la producción total. Pero también se comprobó que uso de la energía solar térmica mediante colectores debe integrarse con fuentes de calor auxiliares, tales como quemadores o bombas de calor.

Wang y col., (2005) evaluaron el rendimiento térmico de un sistema solar de calefacción mediante termosifón, aplicado a invernaderos.

El invernadero tenía unas dimensiones de 34,6 m de largo por 9,2 m de ancho. El sistema estaba formado por diez tanques cilíndricos de 0,51 m de diámetro con 1,5 m de longitud, paneles lisos con una superficie total de 138 m² conectados en paralelo y tuberías de conexión, todo ello instalado dentro del invernadero. El techo y la pared sur del invernadero estaban hechos de policarbonato, con alta transmisión de la luz pero baja transmisión del calor, y para el resto de las paredes se utilizaron planchas de acero tipo sandwich coloreadas, que lo aislaban térmicamente del ambiente.

Los datos tomados experimentalmente fueron los de radiación solar, velocidad del viento, temperatura ambiente, temperatura del aire del invernadero, la temperatura de almacenamiento del agua y la temperatura absorbida por las placas.

Para investigar el rendimiento de este sistema nuevo fue necesario desarrollar un modelo matemático diferente a los tradicionales de calentamiento solar del

agua por termosifón, debido a que el nuevo sistema combina el sistema de circulación natural y la tecnología de los invernaderos.

Este modelo se basó en el balance energético entre las placas planas absorbentes, el suelo, el aire en el invernadero, el techo y el tanque de almacenamiento. La temperatura del aire en el invernadero y la temperatura del agua almacenada fueron previstas y el caudal másico calculado de acuerdo con el equilibrio entre la caída de presión por rozamiento y la presión debida a las diferencias de densidad en torno al circuito del termosifón.

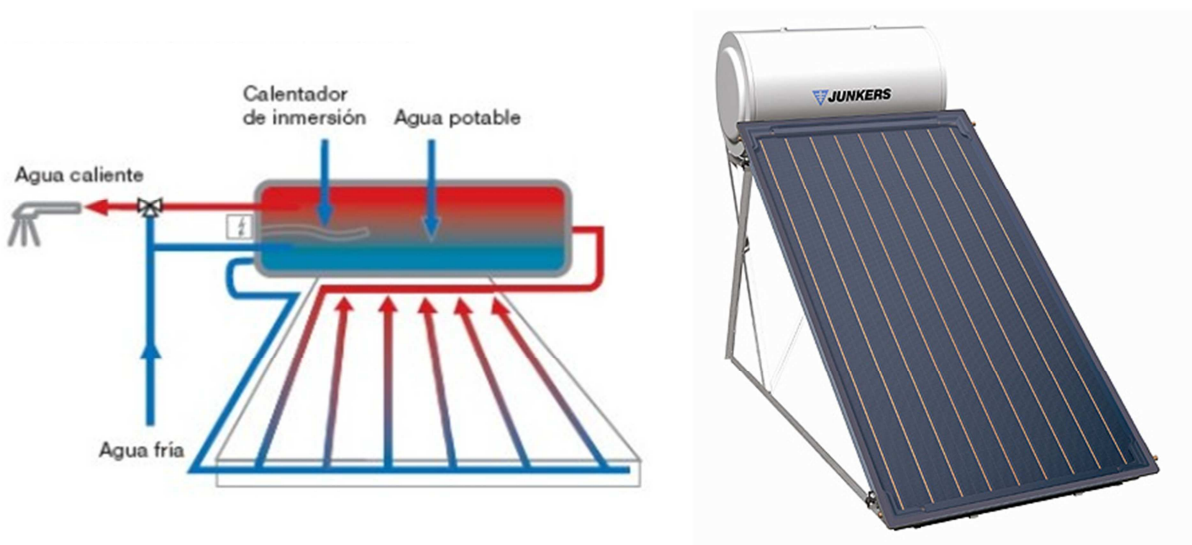


Figura 12. Sistema solar basado en la circulación natural para el calentamiento del agua.

Bargach y col., (2004), en Marruecos, presentaron una investigación experimental sobre dos tipos diferentes de sistemas de energía solar para la calefacción de invernaderos agrícolas.

En el primer sistema se utilizaron colectores solares planos, instalados fuera de un invernadero cubierto de polietileno de 250 m². En el segundo sistema se basaron en la absorción selectiva de la energía solar por un fluido de transferencia de calor (azul de metileno), empleando colectores de polietileno alveolar transparente instalado dentro de un invernadero de cristal de 9 m².

Los cambios microclimáticos producidos por estos sistemas en el invernadero fueron considerables, ya que, que permitió el aumento de la temperatura durante la noche, haciendo las condiciones más favorables para el desarrollo de los cultivos.

Comparando los resultados de ambos sistemas, llegaron a la conclusión de que el sistema de calefacción solar mediante colectores de placa plana presentaba las siguientes ventajas: mejor rendimiento térmico (49% frente al 42% del sistema de colectores de absorción selectiva) y la facilidad de

instalación. Además, se probó con éxito su empleo para la calefacción de un invernadero de dimensiones reales.

En cuanto al sistema de absorción selectivo, presentó las siguientes ventajas: el refrescamiento del aire dentro del invernadero durante el día, y una mayor precocidad en la producción agrícola (16 días frente a los 14 días del otro sistema).

El empleo de los sistemas de colectores planos solares para la calefacción de invernaderos resultaría más adecuado en regiones donde el clima es moderado, ya que no existe necesidad de refrescamiento del ambiente durante el día. Y en cuanto al sistema de calefacción para absorción se pueden utilizar en las regiones donde el clima es más duro, con una mayor necesidad de refrescamiento durante el día.

Para los días parcialmente nublados la eficiencia de ambos sistemas no resultó ser tan buena como en días despejados.

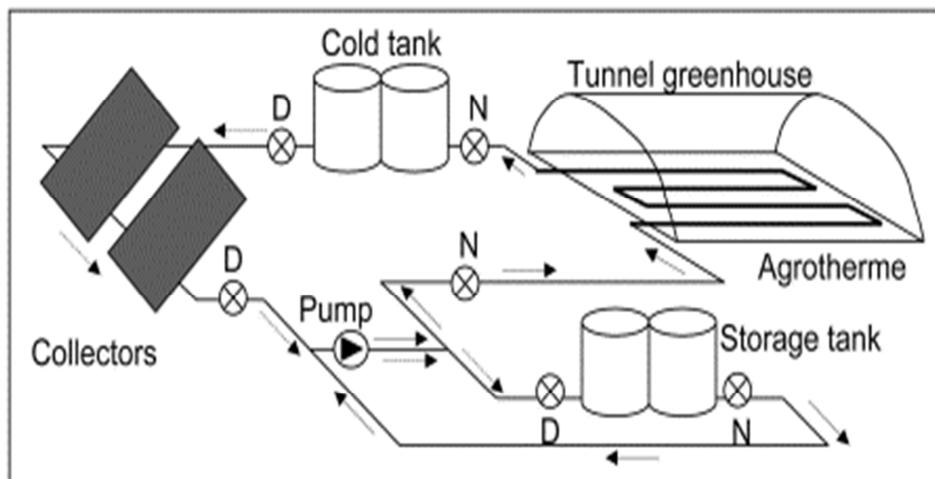


Figura 13. Esquema del sistema de calefacción en el invernadero usando las placas solares planas.

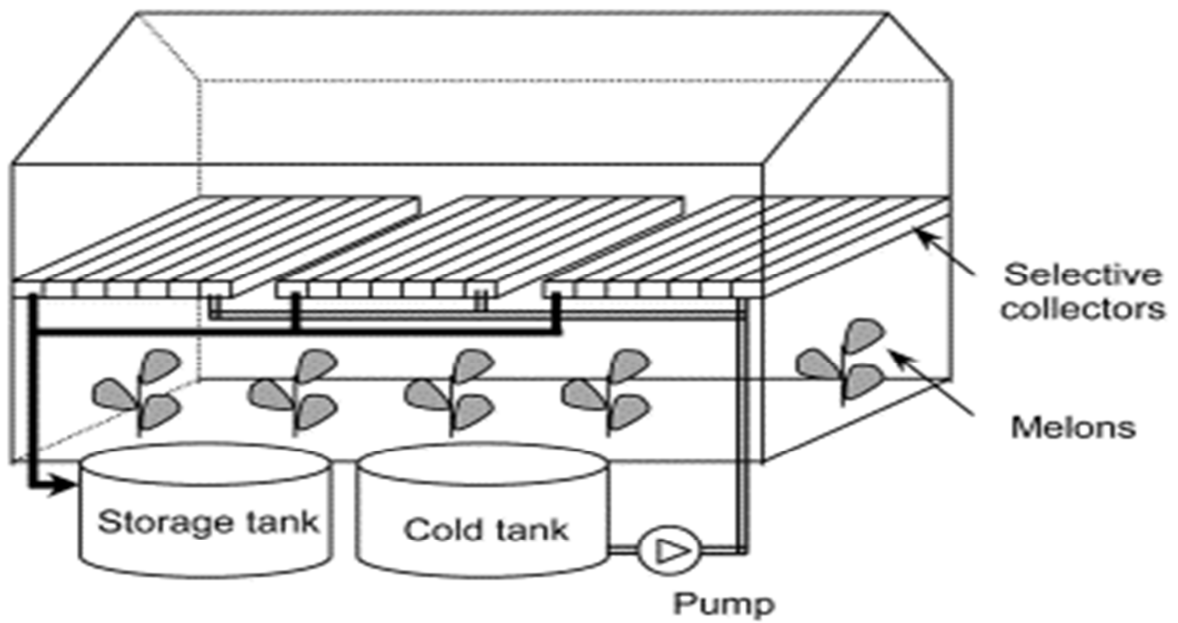


Figura 14. Sistema de calefacción en el invernadero agrícola empleando los colectores selectivos por absorción.

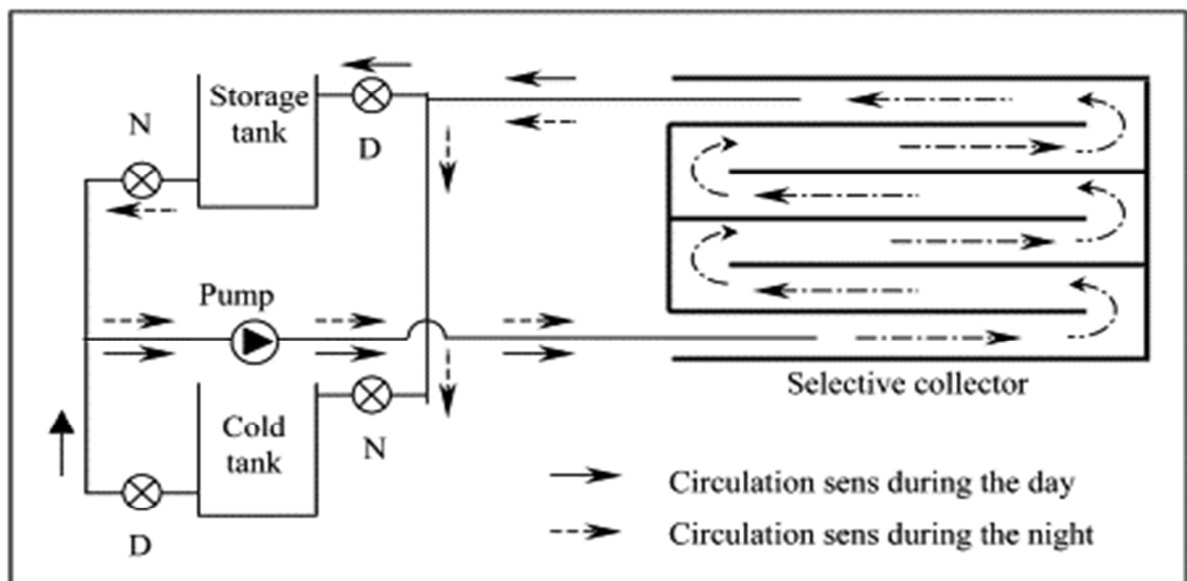


Figura 15. Diagrama esquemático de la circulación del líquido intercambiador de calor en los colectores selectivos por absorción.

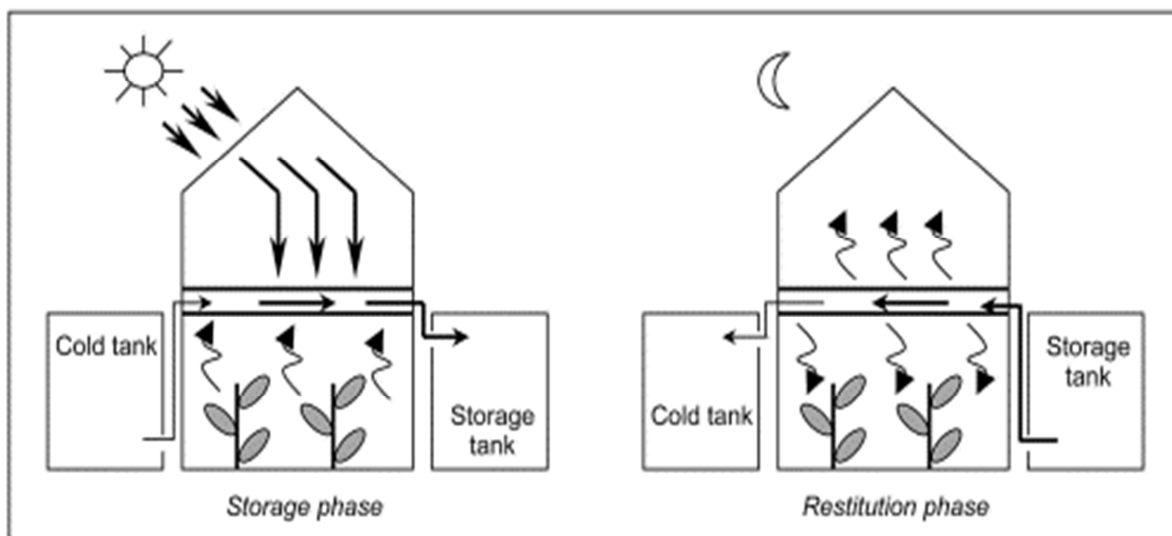


Figura 16. Diagrama esquemático del sistema por absorción, mostrando el flujo de calor durante el día y la noche.

Ozgener y Hepbasli (2005), en Turquía, investigaron las características de funcionamiento de un sistema de bomba de calor solar ayudado por energía geotérmica para la calefacción de invernaderos. Para ello utilizaron un intercambiador térmico curvado en "U" de 32 mm de diámetro nominal situado a unos 50 m de profundidad.

Sobre la base de las mediciones efectuadas cuando se estaba calefactando el invernadero desde el 20 de enero al 31 de marzo del 2004, la tasa de extracción de calor de la tierra promedio resultó ser de 57,78 W/m de profundidad de taladro, mientras que la longitud de perforación requerida en metros por kW de capacidad fue de 11,92. Diseños prácticos en Turquía demandaban normalmente profundidades entre 11 y 13 m/kW de calefacción para la curva en U.

La temperatura del agua entrando a la unidad osciló entre 8,2 a 16,2 °C, con un valor promedio de 14 °C. El aire del invernadero tuvo un máximo de temperatura de día de 31,05 °C y de 14,54 °C por la noche con una humedad relativa de 40,35%.

El coeficiente de rendimiento de la bomba de calor de la calefacción (COPHP) fue de alrededor de 2,00 al final de un día nublado, mientras que se obtuvieron valores de 3,13 al final de un día soleado. El COP obtenido de todo el sistema entre un 5-20% más bajo que el COPHP. El índice de claridad durante el período experimental fue de 0,56.

Durante el experimento se cultivó *Cucumis sativus cv. pandora* F1 (pepino), mejorándose la calidad de los productos con las condiciones climáticas obtenidas.

Sin embargo, los resultados experimentales demuestran que un sistema de calefacción central monovalente (independiente de cualquier otro sistema de calefacción) no puede hacer frente a la pérdida de calor en el invernadero cuando la temperatura ambiente es muy baja. El sistema bivalente (combinado con otros) sería la mejor solución en las regiones del Mediterráneo y del Egeo de Turquía.

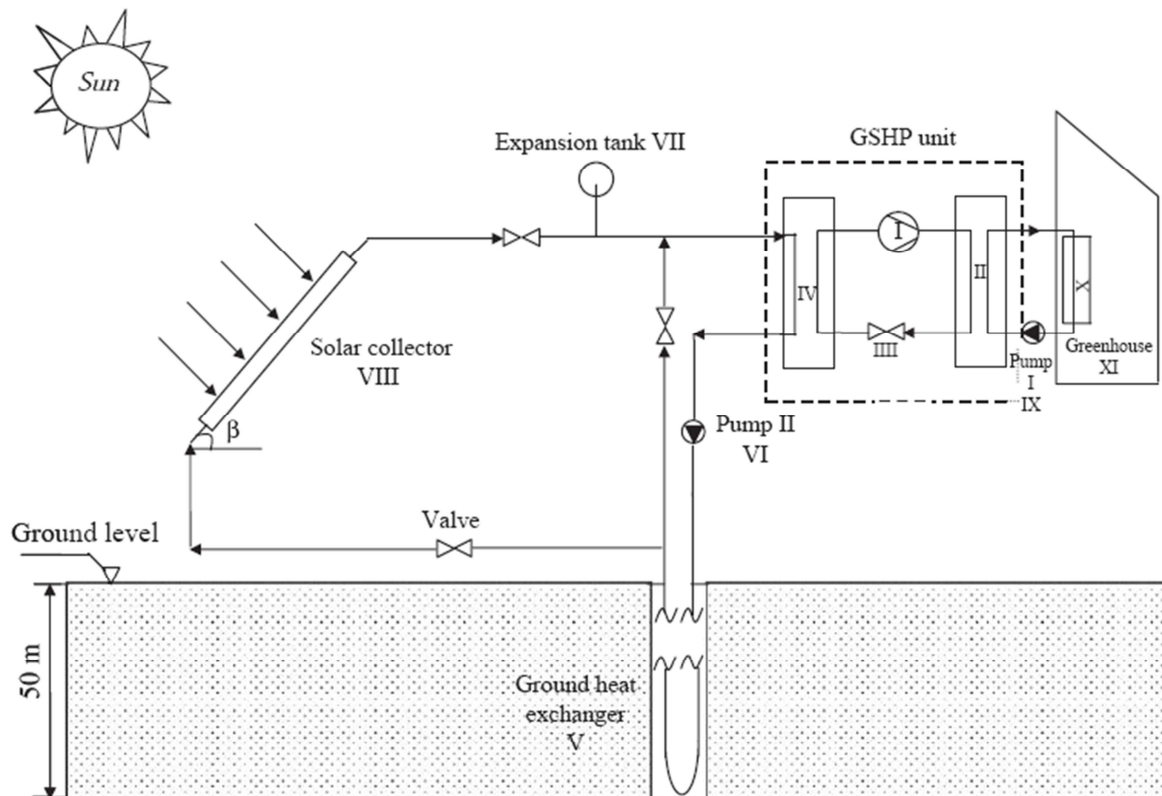


Figura 17. Representación esquemática de un sistema de bomba de calor solar ayudado por energía geotérmica para la calefacción de invernaderos.



Figura 18. Fotografías del invernadero solar (consistente en fibra de vidrio reforzada con plásticos), las placas solares y el sistema de bomba de calor.

Ozgener (2009) realizó un ensayo en el Instituto de Energía Solar de la Universidad de Ege (Izmir, Turquía) donde los objetivos principales eran:

Analizar las cargas térmicas de la energía geotérmica y las cargas pasivas producidas por energía térmica solar.

Por otro lado investigar la utilización de energía eólica en el calentamiento del invernadero.

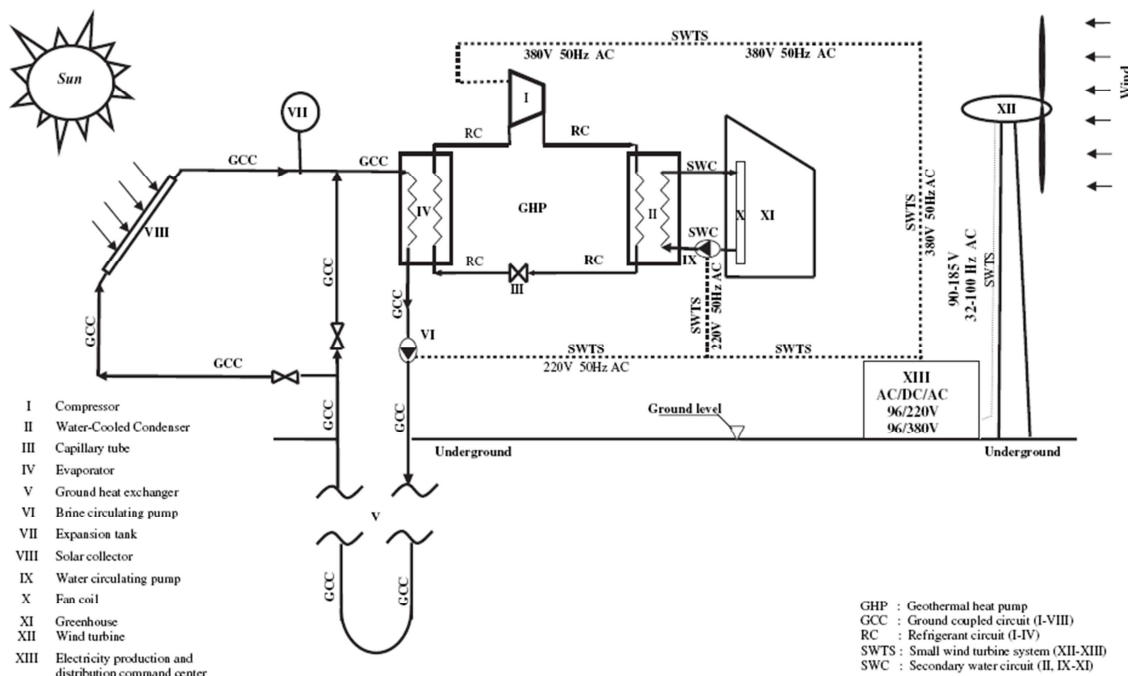


Figura 19. Diagrama esquemático del sistema teóricamente diseñado e investigado.

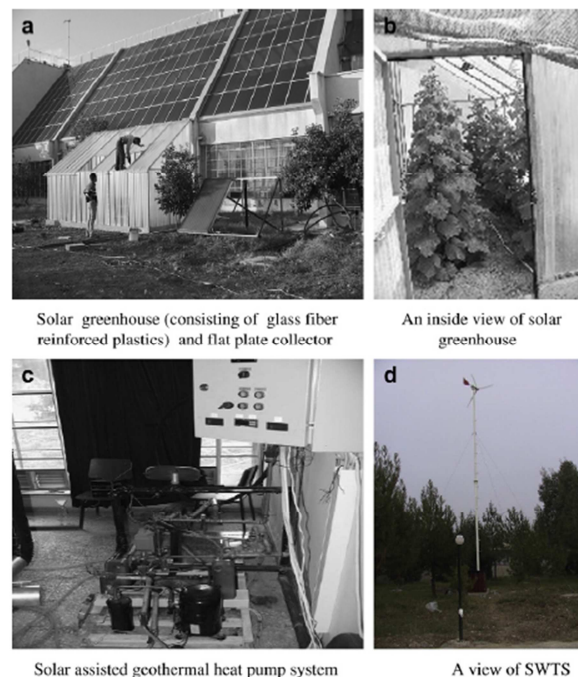


Figura 20. Diversos puntos de vista de tres componentes principales del sistema estudiado teóricamente.

De acuerdo con el resultado del ensayo, el modelo pasivo de calefacción solar térmico combinado con el sistema de bomba de calor geotérmica y el sistema de turbinas, puede ser económicamente preferible a un sistema convencional, siempre que se disponga de un recurso eólico bueno.

Esto se debe a que la energía eólica producida por el pequeño aerogenerador puede abastecer el 12,53 % del total de consumos anuales de electricidad procedentes del compresor, sistema de bombeo de agua y bomba del sistema geotérmico.

A continuación se analizan distintos artículos donde la energía se obtiene de forma solar fotovoltaica.

Kleinwaechter y Studer (2006) conocían que los cultivos hortícolas se desarrollan adecuadamente en función de la iluminación difusa moderada, mientras que los sistemas que concentran la energía solar sólo hacen uso de la intensidad de la radiación directa.

La radiación directa, que por lo general sobrecalienta el invernadero, puede concentrarse en un absorbedor solar por medio de un sistema versátil de lentes orientables al sol. De esta forma consiguieron transformar una parte importante de la energía solar en electricidad y calor almacenable, reduciendo la carga de calor sobre el cultivo. Así, la energía térmica extraída podía ser empleada para la calefacción del invernadero por la noche, la desalación de agua, la refrigeración por absorción o para un proceso termodinámico de generación de energía.

Utilizaron concentradores de celdas fotovoltaicas, reduciendo así el área de las celdas por electricidad producida. El sistema transparente de lentes fue instalado debajo de la cubierta del invernadero, estando así protegido del viento y las condiciones meteorológicas. Comparado con las plantas abiertas de energía solar, los costes de mantenimiento y de materiales se podían reducir, disminuyendo los costes de generación de la electricidad solar.

Considerando las tarifas en España de 0,2 a 0,4 euros/ kW.h para la electricidad solar, y haciendo uso de los excedentes energéticos de la irradiación en invernaderos, llegaron a la conclusión de que este sistema podía llegar a ser muy rentable para los agricultores.

El uso de los sistemas de “sombreado selectivo con energía solar” tan beneficiosos para la agricultura podría contribuir a un rápido crecimiento en la producción de energías renovables, contribuyendo al mismo tiempo al ahorro energético y de agua para la refrigeración y la calefacción. Una hectárea de invernadero tiene aproximadamente 1 MWpico de potencia solar. El empleo de la superficie total invernada española de hoy podría cubrir cerca del 20% del consumo nacional de electricidad.



Figura 21. Sistema versátil de lentes y la concentración de la absorción de la luz del sol, montado en el marco del techo de un invernadero

Rocamora y Tripanagnostopoulos (2006) estudiaron en Grecia el empleo de las denominadas placas solares híbridas con funciones fotovoltaicas y térmicas (PV/T), utilizando el agua y el aire para la extracción del calor de los invernaderos, con el fin de cubrir diversas necesidades de energía, incluyendo las operaciones de ventilación. Estos sistemas suelen ir montados en una parte del techo para proporcionar electricidad y calor simultáneamente. Los módulos fotovoltaicos proporcionan energía eléctrica durante todo el año para los ventiladores, los motores para la apertura de ventanas, etc. En el verano, el

calor extraído desde los módulos fotovoltaicos era conducido fuera mediante las aberturas del techo empleando la ventilación del invernadero. Durante el invierno, el calor extraído se recogía en el agua, donde era almacenado y recirculado más tarde (durante la noche), gracias al empleo de los intercambiadores del interior del invernadero.

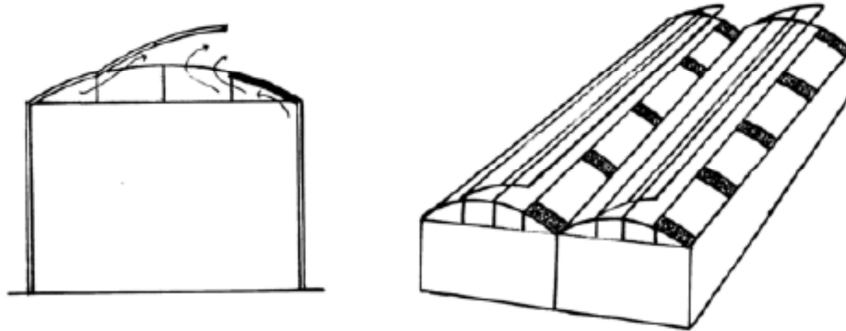


Figura 22. Modo de instalación propuesto de colectores solares PV / T en los invernaderos para su ventilación.

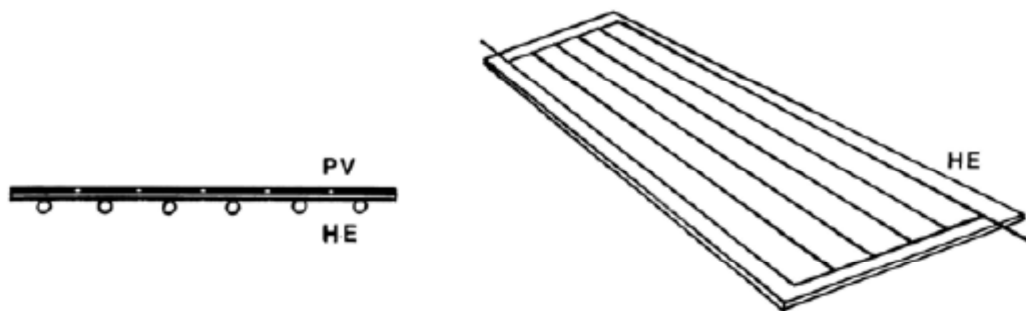


Figura 23. Sección transversal del colector PV/T (a la izquierda), consistente en la placa fotovoltaica (PV) y el intercambiador (HE) para la circulación de agua (a la derecha).

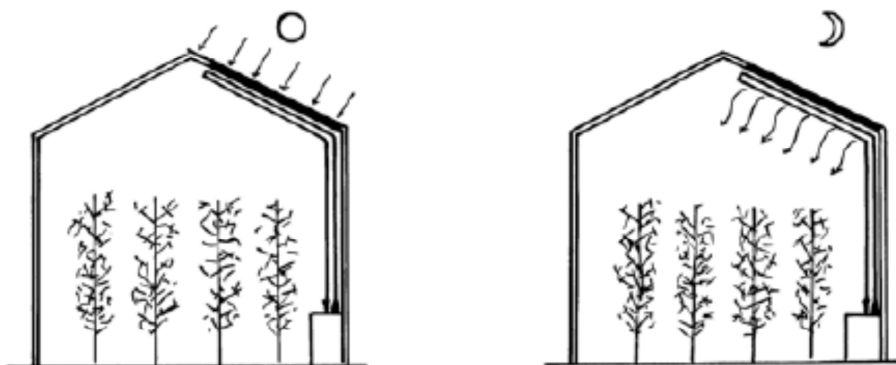


Figura 24. Funcionamiento en el invierno durante el día (a la izquierda) y durante la noche (a la derecha).

3.2.- COMBUSTIÓN VEGETAL.

Las fuentes de energías renovables (FER) desempeñan un papel clave en la actual Unión Europea (UE) junto con las estrategias para mitigar los impactos del calentamiento global (Frombo y col., 2008).

El empleo de las mismas es importante para la consecución de diferentes objetivos, tales como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la sustitución parcial de combustibles fósiles, la reducción del suministro de energía externa, y el respeto de los deberes asumidos en la Conferencia Internacional de Kyoto (1997).

Entre las diferentes formas de fuentes renovables, la biomasa juega un papel importante, gracias a su distribución homogénea y amplia en el mundo. Con el fin de entender el futuro de la bioenergía, es importante analizar los recursos de biomasa que pueden ser potencialmente útiles para la conversión de la energía.

En el Libro Blanco de la Unión Europea "Energía para el futuro: los recursos renovables - Libro Blanco para una estrategia y un plan de acción de la Comunidad" se recoge la propuesta de un plan de acción para el desarrollo de los recursos renovables, afirmándose que la principal contribución a la producción de energía debe ser proporcionada por la biomasa, y, en segunda instancia, por otras fuentes renovables (European Commission, 1996).

La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) calcula que hay 38,7 Tm² de bosques a nivel mundial, de los cuales aproximadamente el 95% son bosques naturales y el 5% son plantaciones y que alrededor de 1,58 Tm² se encuentran en el territorio de la Unión Europea (FAO, 2003).

Varias obras, incluyendo los estudios de la FAO, han investigado el potencial de energía de la biomasa. Así Parikka (2004), afirma que del total de la energía sostenible en todo el mundo, el potencial de la biomasa, derivada de la biomasa forestal, los cultivos y la paja, es de unos 100 EJ.yr⁻¹ (Exajulios/año), lo que representa alrededor del 30% del consumo actual de energía mundial. Un estudio similar fue realizado por Ericsson y Nilsson (2006), estimando los bosques europeos explotables en 1,22 Mm², con un potencial debido a la biomasa de 17 EJ.yr⁻¹.

Con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, en 1996 la Comisión Europea adoptó el Libro Verde "Energía para el futuro: fuentes de energía renovables", solicitando un aumento en la proporción de fuentes renovables en el suministro de energía primaria del 6% en 1996 y al 12% en el 2010. Posteriormente, la producción de la electricidad empleando biomasa ha sido potenciada a través de dos directivas diferentes, con el objetivo de incrementar la fracción de electricidad producida con la biomasa y la proporción de biocarburantes utilizados en los combustibles de transporte (European Commission, 2000).

Además de la importancia medioambiental, el uso de fuentes de energías renovables también facilitaría a la UE una reducción de la dependencia energética del exterior. Actualmente la UE importa alrededor del 50% de sus necesidades de energía y la tendencia actual indica que su dependencia de fuentes externas de energía aumentará hasta un 70% en 2030. Dada la variedad de fuentes de biomasa, no es sorprendente que una amplia gama de tecnologías de conversión de la misma estén comercialmente disponibles o en desarrollo.

Según un estudio realizado por la Agencia Andalucía de la Energía, Andalucía cuenta con un potencial de biomasa que supera las kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep/año), lo que supone un 19% del total del consumo de energía primaria de la región en 2007. El aprovechamiento energético de esta biomasa permite la sustitución de combustibles fósiles, un mayor autoabastecimiento y diversificación energética, además de contribuir al mantenimiento de la actividad en zonas rurales.

La mayor parte de esa fuente de biomasa procede del cultivo del olivo y sus industrias derivadas. La biomasa podría aprovecharse de los residuos agrícolas, equivalente a 1.434 ktep/año, de los que más de la mitad (803 ktep/año) procederían del olivo. El resto pertenecería a girasol, algodón o los frutales, mayoritariamente.

Asimismo, Andalucía presenta un importante potencial en residuos de industrias agrícolas y forestales, con 650,56 ktep/año; mientras que 617,62 ktep/año provendría de cultivos energéticos; y 609 ktep/año pertenecería a materias biodegradables como residuos sólidos urbanos, lodos de depuradoras, residuos ganaderos, pertenecientes a la industria agroalimentaria. Por último, los residuos forestales cuentan con un potencial de generación de hasta 136 ktep/año, con especies como el de robles o encinas, el eucalipto, el pino o el chopo.

El empleo de calderas de pellets como sistema de calefacción supone el uso de la biomasa como combustible. Los pellets son cilindros de biomasa compactada, procedente de residuos forestales y desechos de origen vegetal (entre 5 y 6 mm de diámetros y 2-3 cm de longitud). Su constitución compacta y su reducido tamaño permite la automatización de la alimentación de las calderas de biomasa mediante un sistema de tornillo sin fin. Este hecho y la facilidad de ignición, mediante un sistema de alta temperatura, permite utilizar el pellet como una clara alternativa al gasóleo de calefacción.



Figura 25. Pellets derivados de desechos forestales.

Chau y col., 2009, realizaron un análisis de viabilidad económica para la instalación de caldearas de biomasa con pellets de madera y residuos de madera, los cuales proporcionaban el 40% de la demanda anual de calor y el 60% restante lo hacía una caldera de gas natural, frente al uso de una caldera de gas natural que proporcionaba el total del calor demandado por el invernadero.

Dicho ensayo se llevó a cabo en Vancouver, en un invernadero de características representadas en la Tabla 4:

Parameter	Value
Greenhouse area (ha)	7.5
Greenhouse floor area dimensions (m)	274 × 274
Greenhouse height (m)	4.3
Covered area of greenhouse (m ²)	80,340
Overall heat transfer coefficient (W/(m °C))	4
Design inside temperature (°C)	16
Design outside temperature (°C)	-7
Theoretical heat power requirement (MW)	7.4
Actual heat power specified for the 7.5-ha greenhouse (MW)	7.5

Tabla 4. Cálculo de la potencia térmica necesaria para el efecto invernadero de 7,5 hectáreas.

El costo de combustible para proporcionar el calor y el CO₂ óptimo para el desarrollo de los cultivos representa aproximadamente el 28% de los gastos de explotación de un invernadero. Los últimos precios del gas natural así como de sus fluctuaciones hace cada vez más atractivo el uso de combustibles alternativos. En general, los precios de residuos de madera y pellets de madera son más bajos y más estables.

El artículo estudia cuatro casos distintos descritos en la Tabla 5:

Scenarios	Energy sources ^b	Natural gas contribution (%)	Biomass contribution (%)	Emission control system ^b	
				Primary	Secondary
Base	NG	100	-	Multicyclone	None
1	NG, WP	60	40	Multicyclone	None
2	NG, WP	60	40	Multicyclone	ESP
3	NG, WR	60	40	Multicyclone	None
4	NG, WR	60	40	Multicyclone	ESP

Tabla 5. Escenarios utilizados para suministrar calor a efecto invernadero^a.

^a La capacidad de la caldera de gas natural y caldera de biomasa de madera en los escenarios 7.5MW y 5 MW, respectivamente.

^b GN = natural, WP = pellets de madera, WR = residuos de madera, precipitador electrostático ESP.

En conclusión para una vida útil de 25 años, un sistema de pellets de madera puede generar 259.311\$ sin ESP y 74.659\$ con ESP. La instalación de una caldera de residuos de madera con o sin ESP podría proporcionar 919.922 \$ o 1.104.538\$ respectivamente, frente a una de gas natural que aportase el 100% del calor demandado por el invernadero.

Desde el punto de vista medio ambiental el uso de una caldera de biomasa podría reducir más de 3.000 toneladas de CO₂ al año. Uno de los problemas de la instalación de calderas de biomasa es que generan un mayor volumen de partículas de materia (PM) y ceniza que el gas natural. Este problema se puede subsanar instalando un precipitador electrostático (ESP) ya que reduce eficazmente las emisiones de PM de la combustión de biomasa de madera originando unos niveles similares al gas natural.

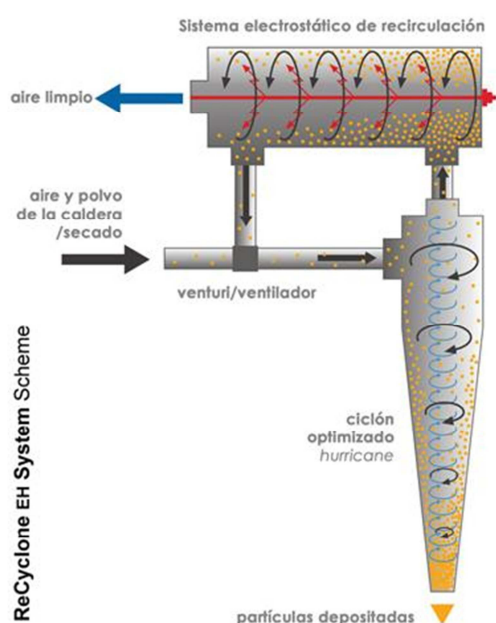


Figura 26. Detalle de un precipitador electrostático.

Scenarios	Carbon dioxide equivalents (t) ^a	PM ₁₀ (t) ^b	PM _{2.5} (t) ^c	Ash (t)
Base	9947	0.1	0.1	0.0
1	6529	8.7	5.2	11.6
2	6529	1.4	1.2	11.6
3	6716	13.7	8.2	233.8
4	6716	1.8	1.6	233.8

Tabla 6. Resumen de los gases de efecto invernadero y las emisiones de partículas.

^a Principales gases de efecto invernadero incluyen el CO₂, CH₄ y N₂O. Las emisiones de gases se convierten en equivalentes de CO₂.

^b De partículas de materia de menor o igual a 10 ml de diámetro.

^c De partículas de materia de menor o igual a 2,5 ml de diámetro.

Chau y col., 2009, realizaron un artículo que amplía el anterior ya que se evalúa el precio de los combustibles, la contribución de la madera de biomasa y la comparación entre los dos tipos de calderas de biomasa.

El caso base que se toma es a lo largo de una vida útil de 25 años de las calderas en los cuales se estima que el precio del gas natural aumenta un 3% al año.

La Tabla 7 muestra las características de los combustibles, eficiencia térmica de las calderas de pellets de madera, residuos de madera y gas natural y el precio de cada una.

Description	Wood pellets	Wood residue	Natural gas
Boiler efficiency	88.00%	66.00%	92.50%
Moisture content	5.00%	40.00%	N/A
Calorific value	17.9 GJ/t	10.60 GJ/t	37.00 MJ/m ³
Annual quantities of fuel	4147 t	9355 t	2868 m ³
Fuel price	\$100.00 t ⁻¹	\$25.00 t ⁻¹	\$8.25 GJ ⁻¹
Total fuel cost per annum	k\$414.6	k\$233.9	k\$875.5

Tabla 7. Lista de parámetros relacionados con la eficiencia de la combustión, las propiedades de la biomasa, y los costos de combustible.

Los gastos de la instalación se muestran en la siguiente tabla. Además hay que tener en cuenta otros factores como el espacio de almacenamiento, una caldera de pellets requiere menos espacio y menos equipos de manipulación de materiales debido a su facilidad de manejo.

Description	Wood pellet boiler (k\$)	Wood residue boiler (k\$)
Boiler system	1490	1450
Installation	43.55	53.60
Land	6.167	64.23
Feasibility study	5.000	5.000
Electrostatic precipitator	435.0	435.0
Crane rental	2.800	2.800
Building	280.0	280.0
Miscellaneous (5% of the above)	113.1	114.5
Total	2376	2405

Tabla 8. Gastos de instalación.

El Gráfico 4 muestra la viabilidad de los proyectos dependiendo del incremento del valor de la madera como combustible para las calderas de biomasa.

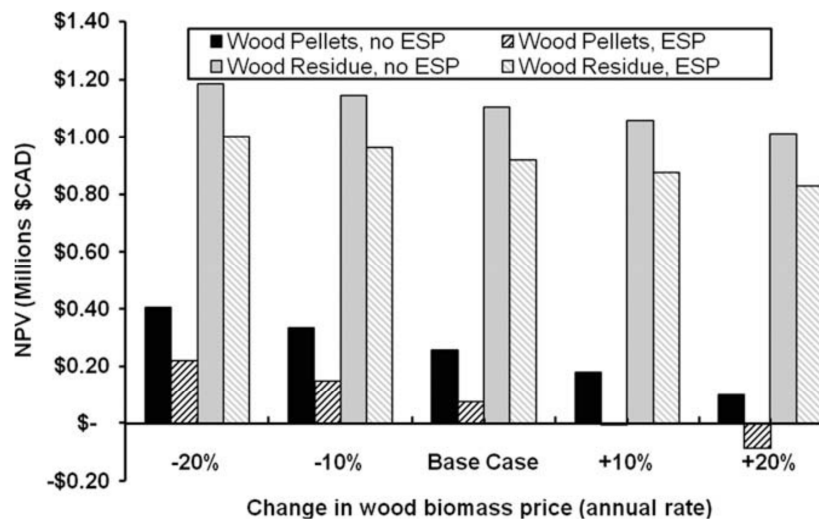


Figura 27. Influencia del cambio anual de los precios de madera para biomasa (sobre una vida útil de 25 años). La inflación de los precios en el caso base es del 3% por año.

Se puede observar que incluso con un aumento del 20% los residuos de madera siguen siendo rentables.

Respecto al precio del gas natural influiría de la siguiente manera:

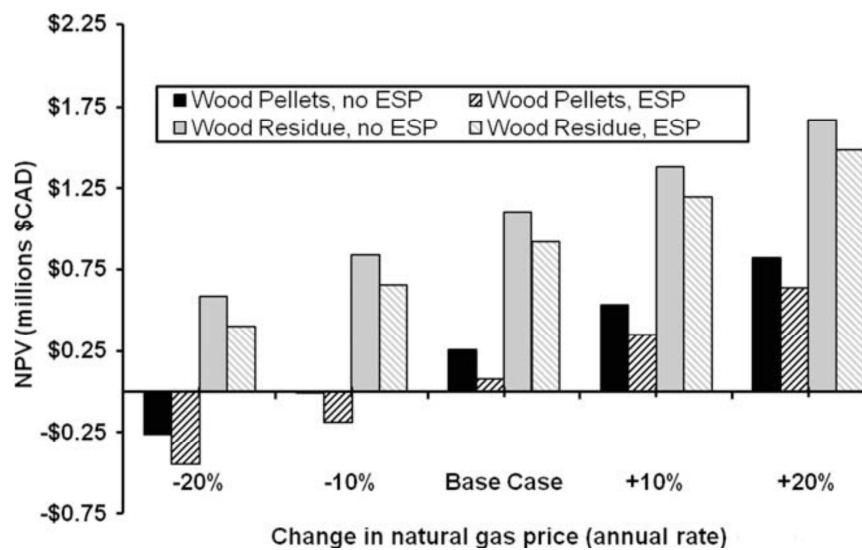


Figura 28. Influencia del cambio anual de los precios de gas natural (sobre una supuesta vida útil de 25 años). La influencia de los precios en el caso base es del 3% por año.

Se puede observar que incluso con un descenso del 20% en el precio del gas natural la instalación de calderas de biomasa con residuos de madera es rentable.

El Gráfico 5 muestra la viabilidad del proyecto dependiendo del calor total que debe la caldera proporcionar al invernadero, el caso base es de 40%, con un aporte de 30% únicamente sería rentable los residuos de madera.

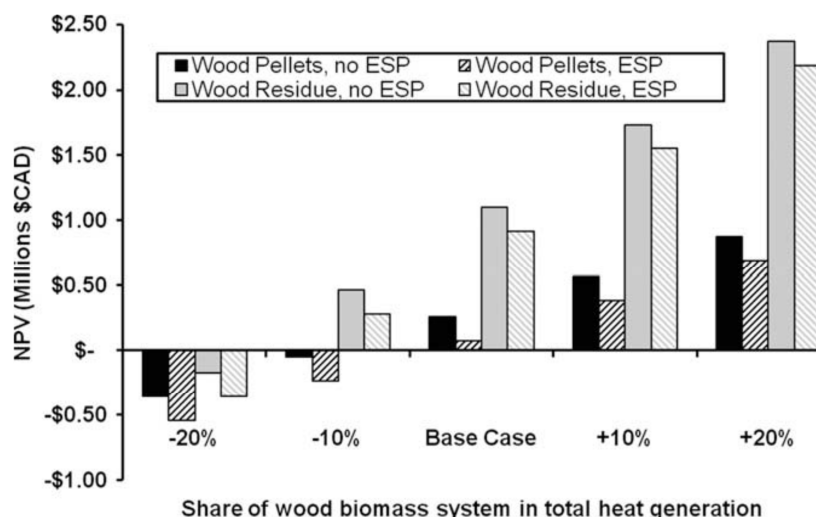


Figura 29. Influencia de la demanda de calor en la viabilidad del proyecto (sobre una supuesta vida útil de 25 años). El caso base corresponde al 40% de la demanda total de calor.

El rango en el que oscila la rentabilidad del proyecto respecto a la demanda de calor que deben aportar las calderas de biomasa se encuentra entre el 40% y el 70% ya que a partir de este porcentaje se necesitaría el aporte de CO₂ líquido.

Biomass contribution (%)	Liquid CO ₂ cost ^b (\$)	Annual fuel cost (k\$)		
		Natural gas	Wood pellet (Scenarios 1 and 2)	Wood residues (Scenarios 3 and 4)
10	-	1313	103.7	58.47
20	-	1167	207.3	116.9
30	-	1021	311.0	175.4
40	-	875.5	414.6	233.9
50	-	729.2	518.3	292.3
60	-	583.7	622.0	350.8
70	-	437.8	725.6	409.3
80	304.7	291.8	829.3	467.7
90	304.7	145.9	933.0	526.2
100	304.7	-	1037	584.6

Tabla 9. Aporte de líquido y combustible sobre la base de contribución de la caldera de biomasa.

Por último según la extensión sería rentable el uso de este sistema de calefacción en invernaderos de extensiones grandes, mínimo de 7,5 ha.

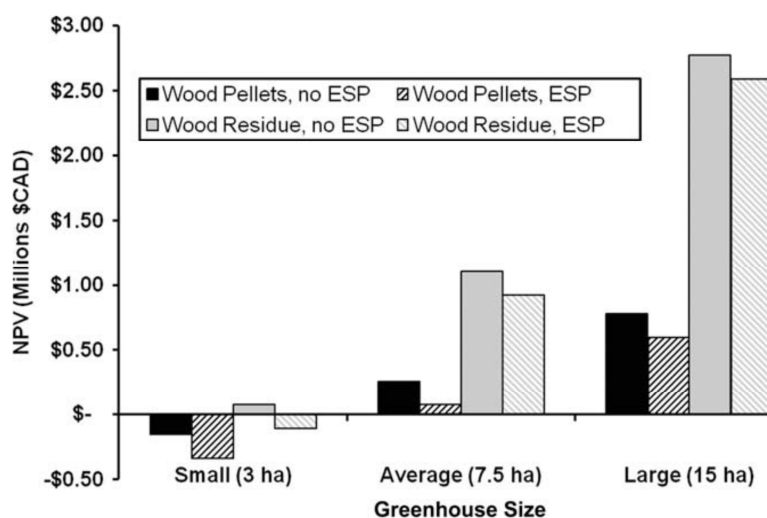


Figura 30. Rentabilidad de las calderas de biomasa según el tamaño del invernadero (sobre una vida útil de 25 años).

3.3.- ENERGÍA GEOTÉRMICA.

La energía geotérmica es la energía calorífica que la Tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre.

El incremento de temperatura según profundizamos en la corteza terrestre se denomina gradiente geotérmico, siendo en la mayor parte del planeta de unos 2,5-3 °C cada cien metros.

Pero existen zonas terrestres en las que este gradiente geotérmico es muy superior al valor normal, lo que puede ser empleado como fuente de energía adicional.

Kondili y Kaldellis (2006) conocían el gran potencial geotérmico de Grecia con suministros de alta entalpía en el Mar Egeo y terrenos de baja entalpía esparcidos en lugares específicos del país que no habían sido suficientemente explotados aún. De esta manera, la utilización de la energía geotérmica para la calefacción de invernaderos resultaría ser una aplicación prometedora.

En el artículo publicado por ellos, proponen un sistema integrado de análisis y metodología para el diseño de un invernadero solar geotérmico que minimice el consumo de combustibles fósiles y los reemplace.

A tal efecto, los elementos del sistema fueron modelados analíticamente y formulados los balances energéticos de todos los componentes. El modelo resultante se resolvió y los principales parámetros de diseño fueron determinados, a fin de minimizar en toda la instalación las pérdidas de calor y el consumo de energía eléctrica.

La metodología propuesta se aplicó con resultados interesantes relativos a la eficiencia técnica y financiera del sistema.

Como conclusión del artículo se puede obtener que el uso de la energía geotérmica reduce el uso de energía de origen fósil, por tanto es una buena solución para zonas con actividad geotérmica ya que desde el punto de vista energético y financiero resulta rentable.

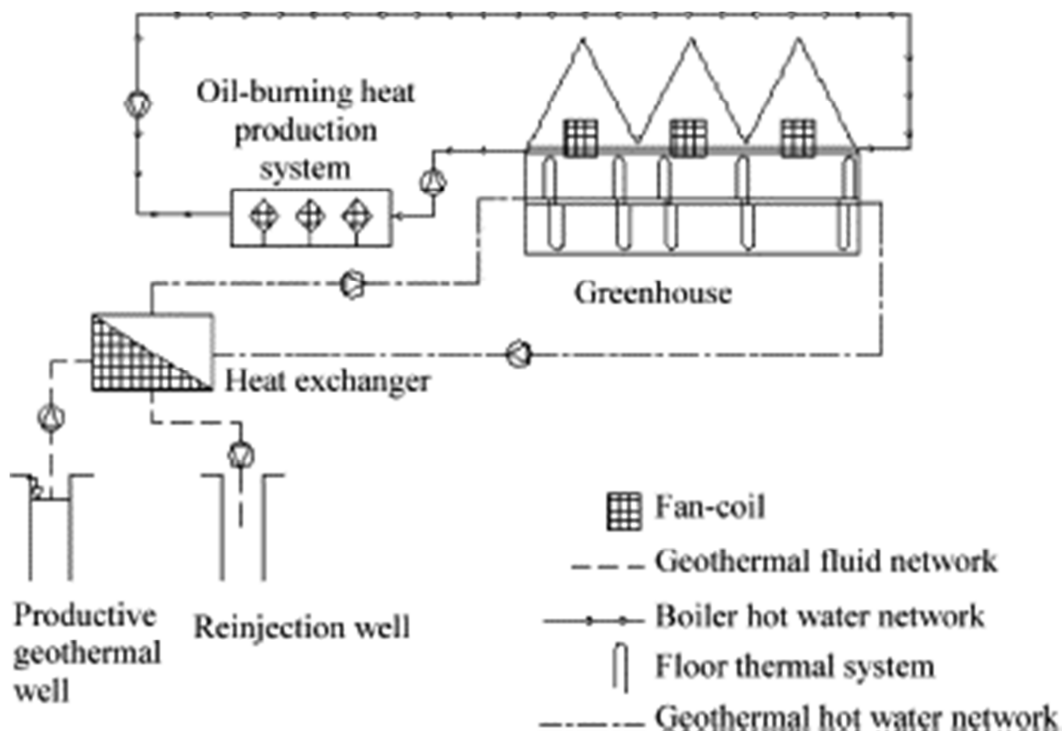


Figura 31. Diseño de sistema geotérmico con empleo de la energía solar para invernaderos.

3.4.- ENERGÍA EÓLICA.

La capacidad de los sistemas eólicos se ha duplicado aproximadamente cada tres años durante la última década. Debido a la rápida evolución del mercado, la tecnología de turbinas eólicas ha experimentado un importante desarrollo en el tiempo.

En muchos casos, las instalaciones eólicas se han situado en tierras de cultivo, pero a menudo los agricultores no son los principales usuarios de la energía generada, ni del propio equipo. Muchos agricultores sólo reciben un pago de arrendamiento de sus tierras por la ubicación de las turbinas de viento. Hoy en día, la mayoría de las instalaciones eólicas se utilizan para generar energía eléctrica.

Obviamente, el éxito de las instalaciones de energía eólica depende de las condiciones del viento específicas de cada zona. Las zonas costeras y

montañosas y las llanuras centrales suelen experimentar mayor velocidad media del viento y por tanto son más propicias para ello.

Se considera que el empleo de la energía eólica resulta rentable para la generación de la electricidad cuando el viento alcanza velocidades medias de 9 km/h para los aerogeneradores pequeños (para 100 kW de capacidad de generación) y de 13 km/h para los aerogeneradores de gran tamaño, de más de 100 pies sobre el suelo (Both y Manning, 2008).

En el caso de los invernaderos, se podrían emplear pequeños generadores de viento (de hasta 100 kW de capacidad de generación) para lograr el suministro de la mayor parte de la energía de los equipos, a excepción, posiblemente del empleo de sistemas de iluminación adicionales con grandes consumos. Estos pequeños aerogeneradores suelen encontrarse conectados a la red, de manera que siempre haya un suministro de energía disponible cuando el sistema de viento no está funcionando a plena capacidad, sin la necesidad de baterías para el almacenamiento de la electricidad (Both y Manning, 2008).

En cuanto a las instalaciones eólicas grandes requieren una inversión significativa, se someten a evaluaciones del impacto ambiental, y no siempre son bien recibidos por los habitantes locales. En algunos casos, los agricultores han formado cooperativas para financiar dichos proyectos, reduciendo los riesgos de inversión.



Figura 32. Parque eólico en el mar.

También se pueden utilizar los sistemas eólicos en invernaderos plásticos proyectados para nuevas aplicaciones, como pueden ser la acuicultura, la producción de energía o la desalación de agua.

Mahmoudi y col., (2007) estudiaron el empleo de la energía eólica en conjunto con la solar fotovoltaica para satisfacer las necesidades energéticas de un invernadero con aplicación en la desalación del agua de mar, situado en Omán.

La principal ventaja de este sistema híbrido fue un aumento suministro energético al emplear los dos tipos de energías renovables, sin necesidad de otros apoyos derivados de los combustibles fósiles.

Los experimentos se efectuaron en un invernadero de 16 m de ancho y 60 m de largo, produciendo 297 l/día de agua dulce. Los análisis de los datos recogidos confirmaron que era técnicamente viable el aprovechamiento de la energía del viento y del sol para el funcionamiento de este invernadero con agua de mar, ya que en tan sólo 8 horas se obtenía el 98% del total del agua dulce desalada (Mahmoudi y col., 2007).

Todo el proceso en el que se basó el sistema se asemejaba al ciclo hidrológico natural, controlado dentro de un entorno. El agua de mar era bombeada de un pozo cerca del mar, posibilitando la filtración natural de la misma por la arena.

El invernadero estaba equipado con un sistema de humidificación -deshumidificación favorecido por el sistema de desalación, creando el clima adecuado para sembrar cultivos de calidad.

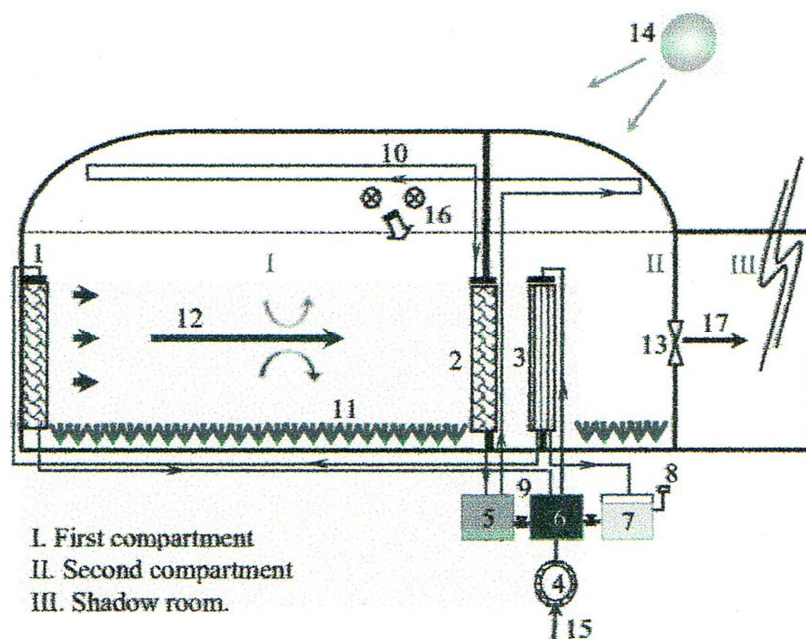


Figura 33. Proceso esquemático del invernadero para la destilación del agua de mar. 1. Evaporador 1; 2. Evaporador 2; 3. Condensador; 4. Pozo; 5. Tanque caliente de agua de mar; 6. Tanque frío de agua de mar; 7. Agua dulce; 8. Aparato de conductividad; 9. Válvula supletoria; 10. Tubos de calefacción solar; 11. Cultivos; 12. Refrigeración y aire humidificado; 13. Ventiladores helicoidales; 14. Energía solar; 15. La entrada de agua de mar; 16. Ventilador centrífugo.

3.5.- ENERGÍA COMPUESTA.

Cuando las condiciones climáticas son extremas en un invernadero y las temperaturas cambian bruscamente entre estaciones, se requiere el empleo de otros sistemas de control climático a través de los cuales se consiga calefactar el ambiente en las noches de invierno y la refrigeración necesaria en días de verano.

Este es el caso de los sistemas compuestos, entre los que destacan los intercambiadores de calor tierra-aire y los intercambiadores de calor a través de acuíferos.

- Intercambiadores de calor tierra-aire.

La temperatura de la Tierra por debajo de su superficie a una profundidad de 3-4 m se mantiene estable durante todo el año (entre 26-28 °C). Esta enorme masa de tierra puede ser empleada como medio de almacenamiento de calor.

Los intercambiadores de calor tierra-aire (EAHES) consisten básicamente en tuberías subterráneas y enterradas, por las que circula un flujo de aire. Estos tubos generalmente se sitúan a lo largo del invernadero, con puntos de entrada y salida del aire para que circule en sentidos opuestos.

En invierno, el aire frío desde el interior del invernadero se distribuye a través de la tubería subterránea, recogiendo el calor del suelo y devolviéndolo al invernadero. Las repetidas circulaciones de aire hacia la tierra, hacen que se caliente el aire dentro del invernadero.

El mismo sistema también puede ser utilizado para el enfriamiento en las condiciones de verano, de manera que el calor procedente del aire del invernadero sea cedido a la tierra.

En otro estudio realizado por Ghosal y Torres (2006) se desarrollaron modelos térmicos de EAHES para la investigación del potencial de la energía térmica almacenada en la tierra, con aplicación en el enfriamiento de un invernadero.

Se realizaron estudios paramétricos de los efectos de la longitud de la tubería enterrada, el diámetro de la tubería, el caudal de masa de aire, la profundidad de suelo y los tipos de suelo sobre las temperaturas del aire del invernadero.

Con los parámetros experimentales de la EAHES se encontró que las temperaturas del aire del invernadero resultaban ser entre 5 y 6 °C más bajas en el verano que sin el EAHES.

Sin embargo, la limitación mayor en el uso de EAHES es el coste de la excavación tan profunda (3-4 m) y el diseño horizontal de las tuberías, resultando bastante complicado. Además, la temperatura en torno a la masa del suelo se incrementa gradualmente debido a la disipación de calor de la superficie exterior de la tubería que reduce la eficiencia del sistema.

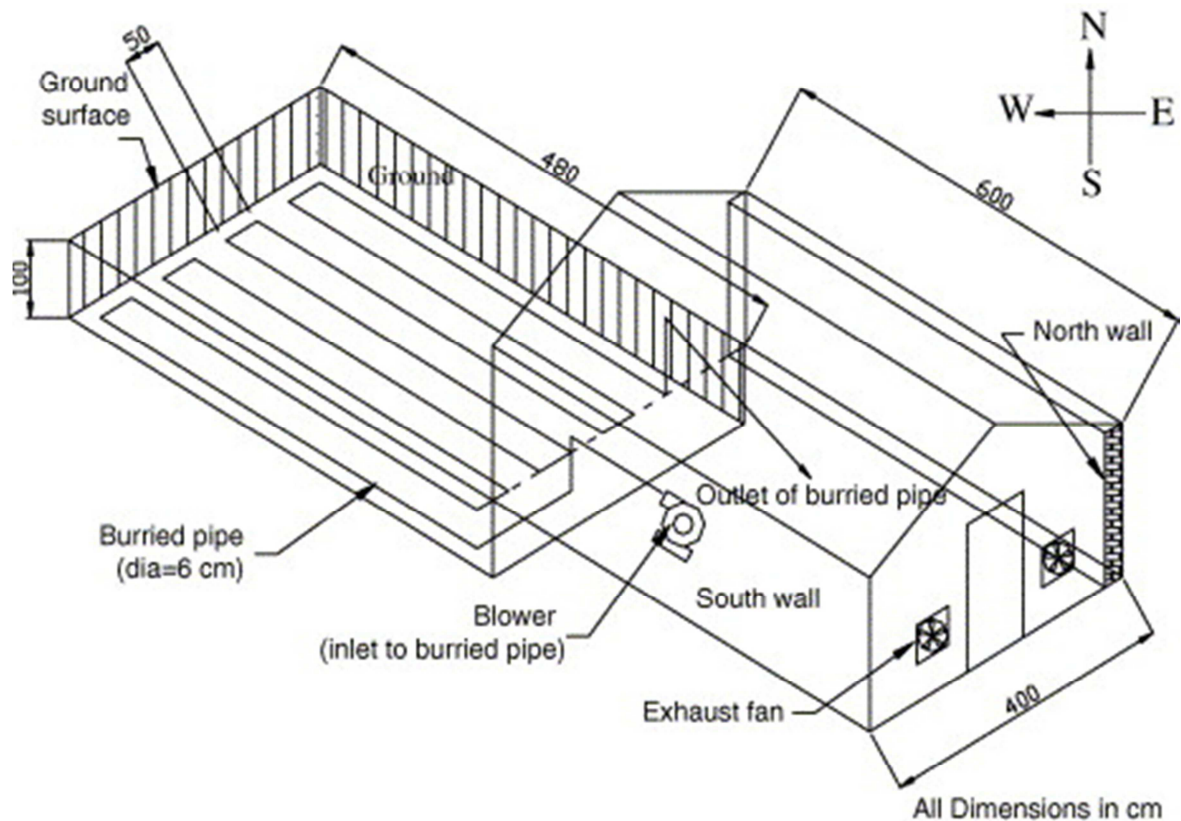


Figura 34. Vista isométrica del invernadero integrado con un sistema intercambiador de tierra-aire (EAHES).

- Intercambiadores de calor utilizando acuíferos.

Otro tipo de sistema compuesto para conseguir calefacción y refrigeración en los invernaderos son los sistemas de flujo del acuífero con tubería intercambiadora de calor (ACCFHES).

Sethi y Sharma (2006) diseñaron este tipo de sistemas basados en el intercambio de calor desde unas tuberías por las que circula el aire del invernadero, a través de un acuífero subterráneo.

El ACCFHES utiliza la temperatura casi constante del agua procedente de acuíferos disponibles en la superficie del suelo (24 grados °C) que poseen ciertos terrenos agrícolas, empleando pozos tubulares profundos (de riego). Esta agua es conducida en un sentido a través de una cavidad poco profunda o zanja cavada en el perímetro del invernadero en la que se colocó previamente una tubería horizontal por la que circula el aire del interior del invernadero en sentido contrario, y que se encontraría totalmente sumergida en el agua. De esta forma se consigue un intercambio indirecto de calor entre el flujo de aire del invernadero y del agua del acuífero.

Los experimentos se llevaron a cabo en un invernadero de 6 x 4 m con una cubierta de polietileno estabilizado de 0,7 de transmisividad, en el que se cultivaba *Capsicum annum* situado en Punjab, la India. La zanja o trinchera perimetral se excavó con las dimensiones de 0,3 x 0,3 metros, a una distancia de 1 m de las paredes del invernadero con el fin de evitar cualquier filtración de agua. Se colocaron 20 m de largo de tubería de plástico (0,10 m de diámetro) en la trinchera, con una lámina aislante por debajo para evitar cualquier filtración del agua al suelo.

Sethi y Sharma (2006) evaluaron experimentalmente el rendimiento del ACCFHES durante las temporadas de invierno y verano. Los resultados mostraron que la media de la temperatura ambiente del aire en el invernadero se mantenía a 7-9 °C por encima del aire exterior durante las noches invernales extremas y a 6-7 °C inferior a la del aire exterior en los días de verano extremo, disminuyéndose también las fluctuaciones de temperatura diarias dentro del invernadero. El promedio de humedad relativa (RH) en el interior del invernadero también descendió en un 10-12% en el invierno, aumentado en más del doble en las condiciones extremas de verano, en comparación con las condiciones externas.

En este estudio también realizaron una evaluación económica, comprobando que el coste de la elevación del agua del acuífero de la superficie del terreno y la excavación de las zanjas era escaso, ya que se aprovechaban las instalaciones de riego ya existentes.

En las conducciones de aire, se utilizaron moto-ventiladores centrífugos para mejorar el intercambio entre fluido, conectando un extremo con la aspiración y el otro con la descarga del mismo. Así, con el fin de neutralizar el efecto de calentamiento de aire en las condiciones de verano, el moto-ventilador fue colocado en la línea de succión para suministrar el aire enfriado por el ACCFHES en el invernadero. Sin embargo, cuando se quería calentar el aire del invernadero, el moto-ventilador era situado en la línea de descarga para no perder el calor procedente del ACCFHES.

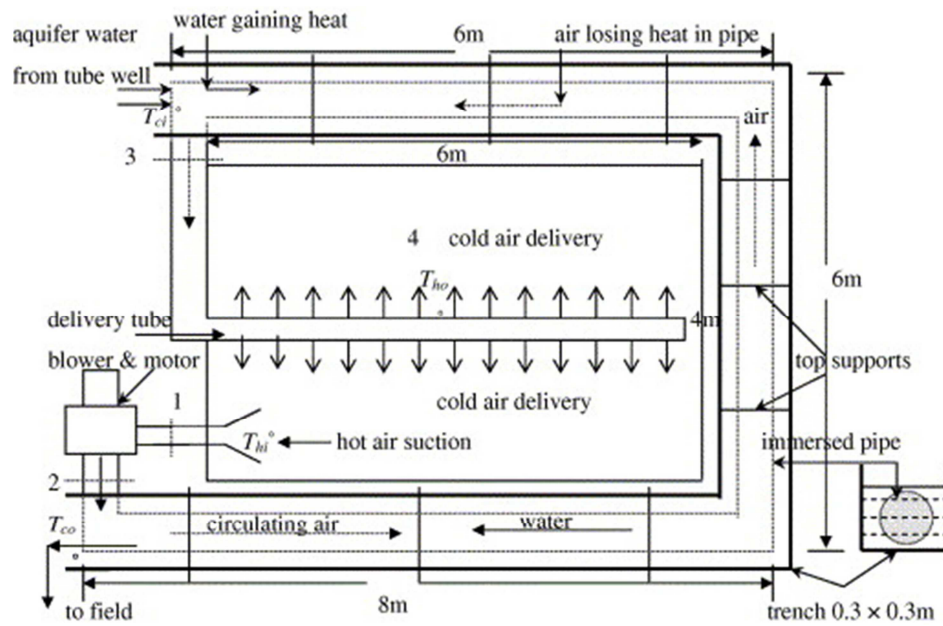


Figura 35. Vista superior del proceso de enfriamiento en un invernadero mediante el ACCFHES.

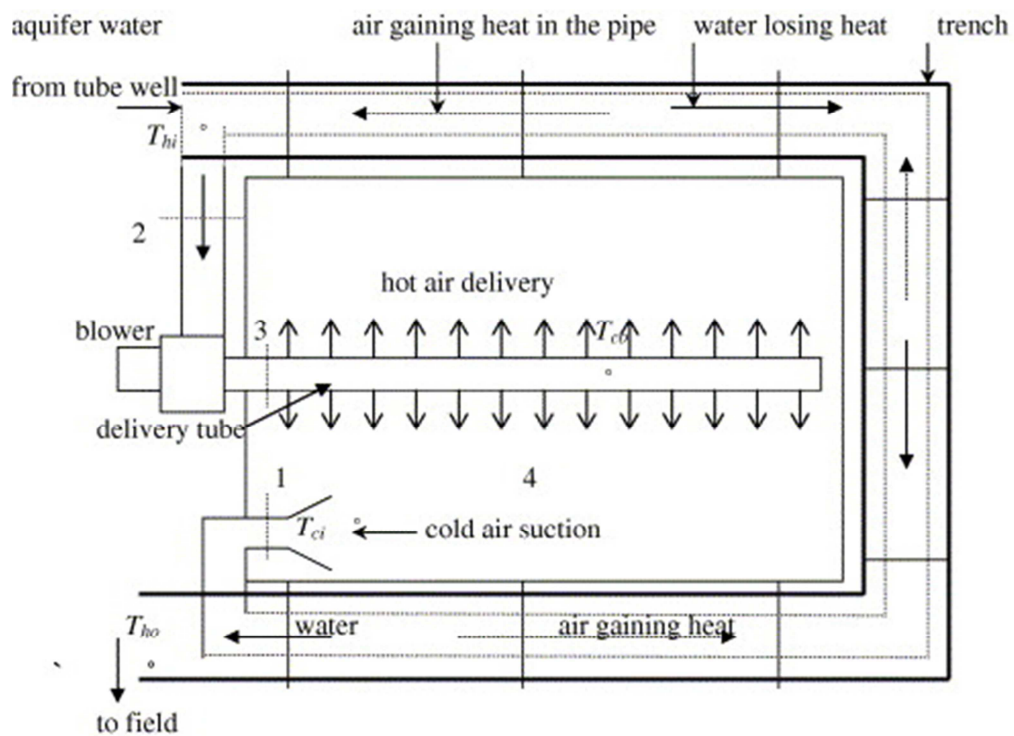


Figura 36. Vista superior del proceso de calentamiento en un invernadero mediante el ACCFHES.

4. DISCUSIÓN.

Según los resultados obtenidos en los artículos citados en el apartado anterior se observa que hay varios sistemas de calefacción con energías renovables así como varios tipos de combustibles para su uso y que en la mayoría de los casos estos son sistemas auxiliares de otros con energías convencionales.

Para la aplicación de sistemas térmicos solares con energías renovables los estudios presentados por Vox y col., (2008) con colectores térmicos solares, Wang y col., (2005) en el cual se estudia un sistema de calefacción con termosifón, Bargach y col., (2004) el cual analiza dos sistemas de energía solar para calefacción de invernaderos y Ozgener y Hepbasli (2005) investigaron el funcionamiento de un sistema de bomba de calor solar ayudado por energía geotérmica para la calefacción de invernaderos. Del estudio de estos trabajos de investigación se obtiene que entre el 40% y el 50% del calor necesario a un invernadero se puede aportar con aplicaciones térmicas solares y el resto de dicho calor por métodos convencionales dando lugar a un ahorro energético y una menor emisión de gases de efecto invernadero. Ozgener (2009) realizó un estudio donde se complementaba el estudio anterior con la utilización de energía eólica para el calentamiento del invernadero donde el aerogenerador el 12,53% del total de consumos anuales de electricidad.

Respecto a sistemas de calefacción con energía fotovoltaica los trabajos Kleinwaechter y Studer (2006) usaban un sistema de lentes de forma que transformaban la energía solar en eléctrica llegando a la conclusión de que este sistema implantado en la superficie invernada española podría suponer el 20% del consumo nacional de electricidad. Del mismo modo Rocamora y Tripanagnostopoulos (2006) estudiaron el uso de placas solares híbridas, es decir, con funciones fotovoltaicas y térmicas.

Entre las diferentes formas de fuentes renovables, la biomasa juega un papel importante, gracias a su distribución por el mundo. Varias obras, incluyendo estudios de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), han investigado el potencial de la biomasa. Así Parikka (2004) que el total de la energía por biomasa puede en el mundo puede representar el 30% del consumo actual de energía mundial.

En el estudio de Chau y col., (2009) se analizaron el uso de calderas de biomasa con pellets de madera y residuos de madera obteniéndose unas ganancias de 1.104.538\$ en 25 años y una disminución de emisión de efecto invernadero en más de 3.000 toneladas de CO₂ al año.

Kondili y Kaldellis (2006) reducen el uso de energía de origen fósil mediante un invernadero solar geotérmico.

La utilización de pequeños aerogeneradores para la producción de electricidad para los distintos sistemas de un invernadero es una buena alternativa debido al ahorro energético y a la posible venta de energía en el caso de un excedente de la misma como se expone en los artículos de Mahmoudi y col., (2007).

Este es el caso de los sistemas compuestos, entre los que destacan los intercambiadores de calor tierra-aire y los intercambiadores de calor a través de acuíferos.

Los cuales han dado buenos resultados, aunque el principal problema es la inversión económica.

5. CONCLUSIONES.

Las energías renovables representan una alternativa seria y necesaria en la agricultura ya que son recursos limpios y ambientalmente seguros.

Debido a las dificultades económicas actuales y al continuo aumento de los combustibles fósiles el uso de este tipo de combustibles puede llegar a suponer el 28% de los gastos de la explotación. Con el uso de energías renovables este gasto se puede disminuir como se ha podido comprobar en los artículos citados en el trabajo, llegando en algunos casos a poder vender éste exceso si se diese el caso.

Desde el punto de vista medioambiental se produce un menor impacto ya que se disminuye significativamente la emisión de gases de efecto invernadero y por tanto haciendo de la agricultura una práctica más sostenible

6. REFERENCIAS.

Instituto para la Diversificación de Ahorro de la Energía. Plan de Energías Renovables en España, 2005-2010.

Instituto para la Diversificación de Ahorro de la Energía. Plan de Energías Renovables de España, 2011-2020.

Conserjería de Medio Ambiente. Las Energías Renovables, una oportunidad para el desarrollo sostenible en la Cuenca del Guadalquivir, 2008.

Conserjería de Medio Ambiente. Plan Andaluz de Acción por el clima 2007-2012 (PAAC), 2007.

López Gálvez J., 1994. Perspectiva global sobre la agricultura en invernadero. En: tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. Dirección General de Investigación Agraria de la Junta de Andalucía y Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (FIAPA). Almería, 15-29.

Van Steekelenburg, N. 1992. Novel approaches to integrated pest and disease-control in glasshouse vegetables in the Netherlands pesticide science 36 (4):359-362.

Bakker J.C. Van Holsteijn G.P.A. 1995. Greenhouse construction and equipment: screens. In: Greenhouse climatic control. An integrated approach. Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, H., Van der Braak (ed) Wageningen Pers. 185-195.

Bakker J.C., 1995. Greenhouse climate control: constraints and limitations. Acta Horticulturae 399, pp. 25-35.

Peet M.M., 1999. Greenhouse crop stress management. Acta Horticulturae, 481, pp. 643-654.

Marcelis L.F.M., 1994. Fruit shape in cucumber as influenced by position within the plant, fruit load and temperature. Scientia Horticulturae 56 (4) , pp. 299-308.

Adams P., 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. Acta Horticulturae 361, pp. 245-257.

Adams et al., 2000. Spectral detection of micronutrient deficiency in 'Bragg' soybean. Agronomy journal 92(2), pp. 261-268.

Onsinejad R., Abak K., 1999. Relationship between earliness and some morphological characters in watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.). First International Symposium on Cucurbits. Acta Horticulturae 492, pp. 303-306.

Tchamitchian, M., Ioslovich, I., 2000. Equivalence of the temperature integral and the carbon dynamics concepts in plants: utility for control. Acta Horticulturae 519, pp. 171 -180.

Schnitzler W.H., Gruda N., 2003. Quality issues of greenhouse production. Proceedings of the sixth international symposium on protected cultivation in mild winter climate: product and process innovation. *Acta Horticulturae* 614, pp. 663-674.

Romero-Aranda R., Longuenesse J.J., 1995. Modelling the effect of air vapour pressure deficit on leaf photosynthesis of greenhouse tomatoes: the importance of leaf conductance to CO₂. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, pp. 423–432.

Lorenzo P., Sánchez-Guerrero M.C., Medrano E., Escobar I., García M., 1997. Gestión del clima. Instalaciones y estrategias para el control activo del clima. *Horticultura*, 119, pp. 80-83.

Kenig A., Kramer S., 2003. CO₂ enrichment in greenhouse production: Practice and bottlenecks. Proceedings of the International Conference and British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques towards the 3rd Millennium. *Acta Horticulturae* 534, pp. 221-230.

Ehret D.L. y Ho L.C.. The effect of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film cultura, 1986. 61 (3):361-367.

López Gálvez J., 1998. Perspectiva global sobre la agricultura en invernadero. En: tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. Dirección General de Investigación Agraria de la Junta de Andalucía y Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (FIAPA). Almería, 15-29.

Van de Voorent et al. 1986. Precision agricultura: Convective and ventilation transfers in greenhouses. *Biosystems Engineering*. 83.1.

Aung L.H.1976. Effect of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive responses of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Amer. Soc. Hort. Sci.*

Castilla, N. 1995. El microclima de los invernaderos de plástico de la costa del sureste español. *Horticultura*, 51: 60-72.

Vox G., Schettini E., Cervone A.L., Anifantis A., 2008. Solar Thermal Collectors for Greenhouse Heating. Proceedings of the International Symposium on High Technology For Greenhouse System Management. *Acta Horticulturae* 801, pp. 787-794.

Wang, Y., Tian, W., Liu, Y., Yang, Z., Zhu, L., Zhang, J., Yuan, B., 2005. System modeling of greenhouse type solar water heater. *International Solar Energy Conference*, pp. 395–401.

Bargach M. N., Tadili R., Dahman A. S., Boukallouch M., 2004. Comparison of the performance of two solar heating systems used to improve the microclimate of agricultural greenhouses in Morocco. *Renewable Energy* 29 (7), pp. 1073-1083.

Ozgener, O., Hepbasli, A., 2005. Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system. *Energy and Buildings* 37 (1), pp. 101–110.

Ozgener, O., 2010. Use of solar assisted geothermal heat pump and small wind turbine systems for heating agricultural and residential buildings. *Energy* 35, pp. 265-268.

Kleinwaechter J., Studer H., 2006. Reducing the Heat Load by Selective Shading with a Solar Power System. International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions. *Acta Horticulturae* 797.

Rocamora M.C., Tripanagnostopoulos Y., 2006. Aspects of PV/T solar system application for ventilation needs in greenhouses. Proceedings of the International Symposium on Greenhouse Cooling. *Acta Horticulturae* 719, pp. 239-245.

Chau J., Sowlati T., Sokhansanj S., Preto F., Melin S., Bi X., 2009. Techno-economic analysis of wood biomass boilers for the greenhouse industry. *Applied Energy* 86 (3), pp. 364–371.

Chau J., Sowlati T., Sokhansanj S., Preto E., Melin S., Bi X., 2009. Economic sensitivity of wood biomass utilization for greenhouse heating application. *Applied Energy* 86, 616-621.

Kondili E., Kaldellis J.K., 2006. Optimal design of geothermal-solar greenhouses for the minimisation of fossil fuel consumption. *Applied Thermal Engineering* 26 (8-9), pp. 905-915.

Mahmoudi H., Abdul-Wahabb S.A., Goosenc M.F.A., Sablanid S.S., Perret J., Ouagueda A., Spahisa N., 2007. Weather data and analysis of hybrid photovoltaic–wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries. *Desalination* 222 (1-3), pp. 119-127.

Ghosal M.K., Tiwari G.N., 2006. Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger integrated with a greenhouse. *Energy Conversion and Management* 47 (13-14), pp. 1779-1798.

Sethi, V.P., Sharma, S.K., 2006. Greenhouse heating and cooling using aquifer water. *Energy* 32 (8), pp. 1414-1421.

Annette L. C., W. David Gardner, 2007. Competition for the biomass resource: Greenhouse impacts and implications for renewable energy incentive schemes. *Biomass and Bioenergy* 31, pp. 601-607.

Frombo F., Minciardia R., Robbaa M., Rossob F., Sacilea R., 2008. Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model. *Biomass and Bioenergy* 33 (3), pp. 372-383.

European Commission, 1996. Energy for the future: renewable sources of energy COM. Brussels, p. 576.

European Commission, 2000. Green Paper: towards a European strategy for the security of energy supply, COM. Brussels, p. 769.

FAO 2003. State of the World's Forest, www.fao.org.

Parikka M., 2004. Global biomass fuel resources, *Biomass and Bioenergy* 27, pp. 613–620.

Ericsson K., Nilsson L.J., 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy* 30, pp. 1–15.

Both A.J., Manning T., 2008. Associate Extension Specialist Project Engineer. New Jersey Agricultural Experiment Station. Rutgers University.

RESUMEN

Uno de los grandes problemas que atañe a la actual sociedad es el consumo de energía y su dependencia de los combustibles fósiles. Los problemas que genera este tipo de combustibles son principalmente dos medioambiental y económico y la solución pasa por la transición de las energías convencionales a las energías renovables.

En este trabajo se muestra el panorama actual energético en España y Andalucía tanto en energía convencional como en renovable, centrándose principalmente en el sector agrícola y comparándolo con el resto, así como alternativas en la calefacción de invernaderos para combinar calefacción con energías producidas con combustibles fósiles y energías renovables, dentro de este último grupo englobamos a las energías de origen solar, eólica, geotérmica y procedente de la biomasa.

Actualmente el sector agrario ocupa el 50% del territorio español y andaluz con unas emisiones de gases de efecto invernadero del 18.03%, es por ello que es vital buscar una alternativa energética, y esta pasa por las energías renovables.

En el documento se citan varios trabajos realizados por diversos investigadores en el que se exponen casos reales en los cuales se combina el uso de ambas energías dando resultados positivos desde el punto de vista ambiental, llegando a evitar la emisión de 3.000 tep a la atmósfera en algunos casos y desde el punto de vista económico produciendo un ahorro en los agricultores debido al menor coste de este tipo de combustibles y a su estabilidad en el precio.

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

