

# El empleo de los materiales de **cambio de fase** en Agricultura y Ganadería

M. Domínguez\*

C. García\*

J. M. Pinillos\*

J. Culubret \*\*

En el presente artículo se analizan los acumuladores de cambio de fase y se describen sus posibilidades para la acumulación de calor o frío y para el movimiento del aire por convección natural.

Estudiándose en particular diversas aplicaciones en la agricultura y ganadería, tales como:

- Transporte de productos perecederos
- Control de las heladas
- Obtención de agua de la atmósfera
- Climatización de granjas e invernaderos
- Aprovechamientos de energías alternativas y calores residuales

Se concluirá estableciendo las ventajas que se ven en el campo de la agricultura y ganadería con el empleo de los Materiales de Cambio de Fase (MCF).



### Introducción

Al estudiar los problemas medioambientales en el campo de frío, nos encontramos con que los acumuladores de cambio de fase (MCF), pueden contribuir a la resolución de gran parte de ellos por lo que hemos dedicado nuestro esfuerzo a buscar soluciones y aplicaciones apropiadas. (Se ha recogido en la bibliografía indicada [1], al [7]). Los principales problemas están relacionados con el **consumo energético y con la contaminación** ambiental correspondiente, con el **transporte de los productos** perecederos, en tendiendo por ello: los seres vivos, los productos refrigerados y los congelados, en donde el empleo de refrigerantes que atacan a la capa de ozono, tienen una gran importancia. Las temperaturas de los acumuladores a emplear se han centrado respectivamente en 5°C, -3°C y -21°C.

También se ha visto que en el **campo de la climatización**, en general, los acumuladores de cambio de fase (MCF) tienen grandes posibilidades, soluciones que se pueden generalizar a casos relacionados con la agricultura y ganadería, como pueden ser: la **climatización de**

**granjas**, en particular de aves y de cerdos, eliminando los sistemas evaporativos directos, la climatización de **invernaderos**, bodegas y también el transporte y conservación de **semen** a temperaturas entre 15 y 18 °C. En estos casos los acumuladores a esas temperaturas son los idóneos, empleándolos, según las temperaturas externas, sólidos o líquidos o en algunos casos en ambos estados.

Otro tema muy importante es, la **lucha contra las heladas**, donde estos materiales pueden contribuir de forma muy importante, por el doble papel de aportar calor y permitir mover grandes cantidades de aire. Se puede con ellos provocar la convección natural e invertir las capas frías bajas del aire.

Dejamos en esta exposición para último lugar, resaltando que no se hace por considerar que sea de menor importancia, la **captación de agua de la atmósfera** mediante el empleo de los MCF, por razones similares al caso de las heladas, y los casos de aprovechamientos de **energías térmicas residuales o renovables**, como: la solar, la eólica y hasta el frío del propio agua, de gran consumo en las industrias relacionadas con la agricultura y ganadería.

\* Instituto del Frío. C.S.I.C. Ciudad Universitaria. Madrid.

\*\* Acufrió. S.L.

Se puede deducir de lo dicho anteriormente, que las aplicaciones de las MCF, en la ganadería y agricultura son muy grandes y de amplio interés mereciendo se dedique un esfuerzo para su conocimiento. **El objetivo pretendido en éste trabajo es únicamente dar una visión general de las aplicaciones que se han visto de los MCF en la Ganadería y la Agricultura.**

### Los acumuladores de cambio de fase (MCF)

Es bien conocido que el hielo tiene una capacidad de almacenamiento de frío muy grande y que el cambio de fase se realiza en él a 0°C. Todas las sustancias presentan, en sus puntos de cambio de fase, ese mismo fenómeno, con energía menor y a temperaturas diferentes. También es conocido, el empleo de sustancias no puras, que ceden o necesitan gran energía térmica para realizar su cambio de fase, tales como, las sales eutécticas y las aleaciones moleculares. Otros tipos de acumuladores desarrollados a temperaturas positivas a base de sales hidratadas, han presentado problemas de envejecimiento con el tiempo, por lo que se han dejado de usar. En los últimos años se están desarrollando nuevos productos que han resuelto estos problemas sin presentar fenómenos de: corrosión, toxicidad, oxidación, etc., como son los MCF.

**Temperaturas de diseño Madrid Retiro**

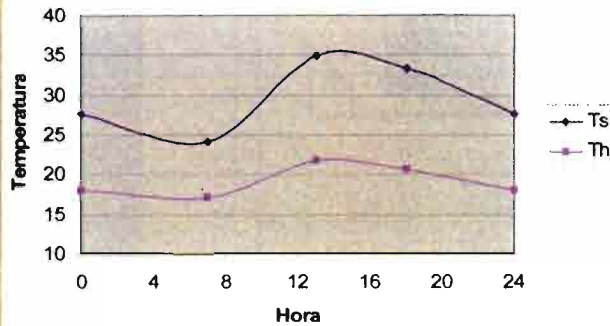


Figura 1 Valores de diseño para Madrid de variaciones de temperatura en meses de verano. Se han representado las temperaturas de bulbo seco Ts y húmedo Th

### Aprovechamiento del calor o frío del aire

La energía térmica del aire es grandísima e inacabable. En climatización se conoce y se aprovecha bajo nombres, como "free cooling". A lo largo de un día, en los climas continentales, pueden observarse variaciones de temperatura muy importantes, tales como pueden verse en la figura 1, en la que se ha recogido las variaciones de temperatura del bulbo seco y húmedo en el mes más cálido para Madrid.

Los MCF se pueden emplear en las instalaciones de climatización en los diversos circuitos de agua, condensación y enfriamiento o en el tratamiento del aire. En la figura 2 se han indicado tres posibles localizaciones de los MCF en las instala-

ciones de climatización, en el circuito de condensación para evitar el empleo de torres de climatización, en el circuito de agua fría y en el de tratamiento de aire. Las temperaturas respectivas de cambio de fase podrían ser de 35, 6 y 23°C.

**Si se guarda por las noches el frío en los acumuladores de calor, se podrá emplear por el día en la climatización.** En casos de granjas, en donde las temperaturas deseadas estén comprendidas entre 23 y

28°C, empleando acumuladores de cambio de fase a temperaturas próximas, con y sin enfriamiento evaporativo, podrán conseguirse

dichas temperaturas sin necesidad de emplear sistemas mecánicos de producción de frío. En estos casos, los costos energéticos serán únicamente los del consumo de los ventiladores.

Se ha pensado que se podrán emplear torres de climatización para obtener el agua fría y con ella climatizar las naves con aerotermos en épocas calurosas. En épocas frías, la calefacción, se puede conseguir con apoyo solar y/o con una caldera, tal como se indica en la figura 3. Empleando los acumuladores se pueden conseguir ahorros energéticos y económicos grandes cargándolos en momentos puntuales del día o de la noche.

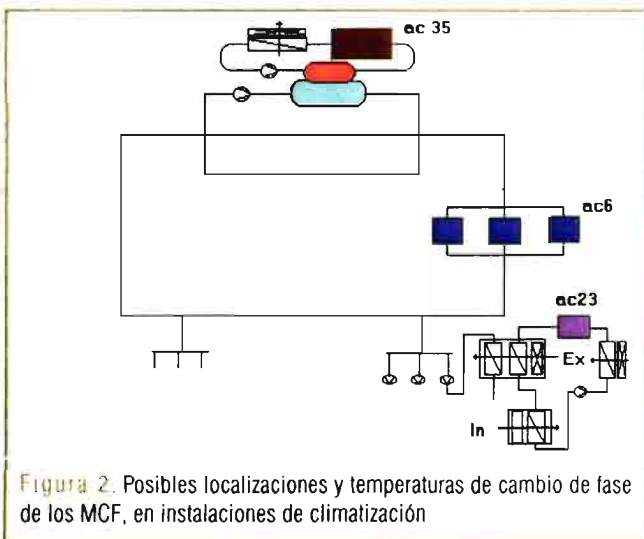


Figura 2. Posibles localizaciones y temperaturas de cambio de fase de los MCF, en instalaciones de climatización

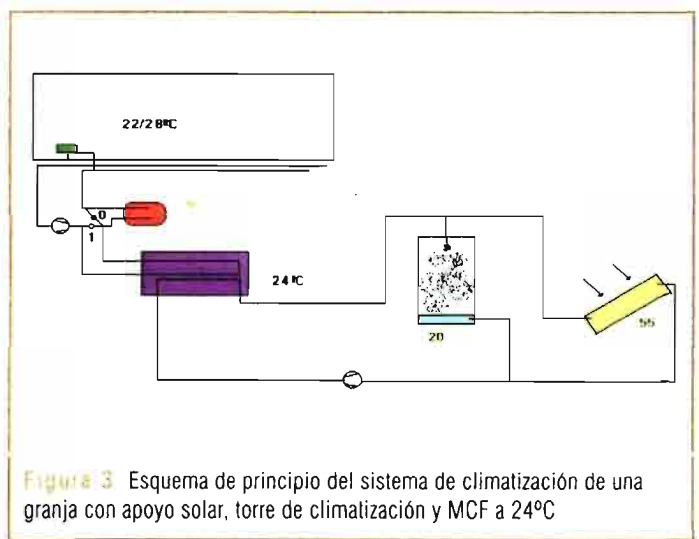


Figura 3 Esquema de principio del sistema de climatización de una granja con apoyo solar, torre de climatización y MCF a 24°C

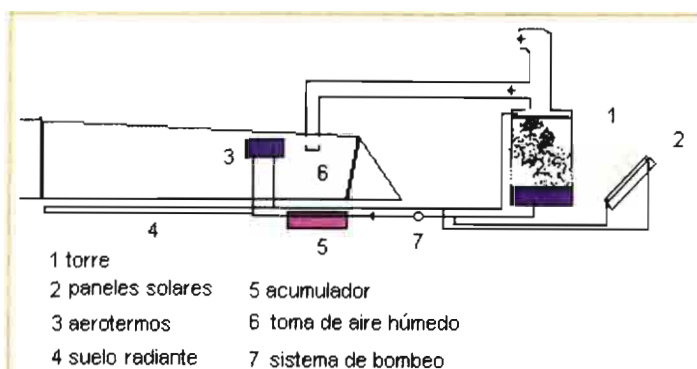


Figura 4 Esquema de principio de la posible climatización de un invernadero, empleando apoyo solar, torre de climatización y MCF

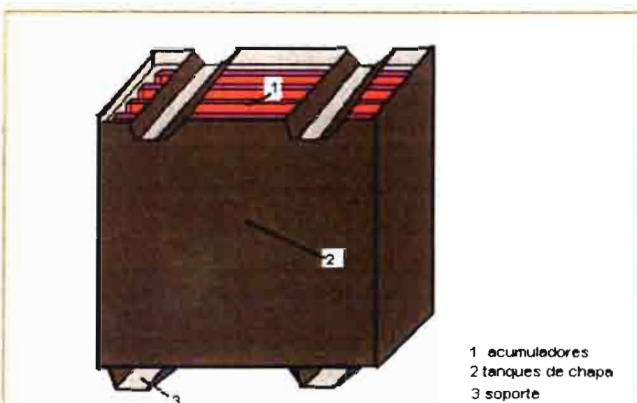


Figura 5 Esquema de un depósito porta placas apilable de MCF

En el caso de invernaderos, se puede hacer otro tanto de lo dicho para granjas y reforzar la calefacción si es necesario, introduciendo una batería de tubos en el suelo. Habrá momentos que convendrá calentar el suelo y en otros refrigerar el aire. Se podrá tomar o no, aire húmedo de la torre para su incorporación al propio invernadero, si se considera necesario. (Figura 4).

Como se puede ver las posibilidades son muchas y muy variadas, quedando a la imaginación o al sentido común de las personas responsables de las instalaciones, el estudiarlas y decidirse por la más adecuada en cada aplicación.

## Lucha contra las heladas

Hay dos tipos de heladas muy diferentes, las conocidas como blancas o húmedas y las negras o "secas". El riesgo de que se pierdan a causa de ellas los cultivos es importante, según el tipo y la época del año. En general, las de primavera y muy largas en el tiempo, son las más peligrosas para los frutales. Se han empleado muchos sistemas y procedimientos, para evitarlas, desde; el humo, al calor por combustión, a sistemas mecánicos de aireación, a la lluvia, hasta el colocar estanques y a plantar árboles de forma adecuada. Las naranjas, los limones y las almendras son de los frutos más amenazados. Se pueden proteger además de con los sistemas descritos, con el aprovechamiento de la acumulación de calor de cambio de fase, distribuyendo chimeneas convectivas por el terreno, formadas por unidades como las descritas en la figura 5.

Durante el día y sobre todo si es soleado, se pueden fundir los MCF y por la noche ese calor acumulado salir al interior de las chimeneas y ascender por ellas aire, que inducirá el de las capas superiores más caliente y evitara que el aire frío más denso, congele a los frutales o las plantas. El calor se aprovecha para mover el aire, en lugar de emplearlo para calentar directamente aquél.

En las heladas negras, que son las peores, estos sistemas son muy interesantes, en las blancas, las nieblas posibles y la falta de días despejados hacen más difícil que se fundan los acumuladores. Las temperaturas de cambio de fase de estos MCF pueden estar entre 2 y 6 °C., podrían colocarse en el interior de placas de plástico resistentes de espesores de 30 mm, separadas entre sí por 10 mm, para dejar pasar el aire entre ellas. En la figura 5 se ha indicado un esquema del posible montaje de los acumuladores, formado por un recipiente porta placas apilable y movable de chapa de hierro pintado de negro o colores oscuros.

Una aplicación concreta de los MCF puede combinarse con el procedimiento de combate de las Heladas Negras denominado SIS (Selective Inverted Sink / Sumidero Invertido Selectivo).

Este procedimiento, basado en un estudio detallado de la climatología local, de la configuración de terreno, del tipo de plantación, etc., permite determinar el número, tamaño y disposición de ventiladores tubulares que, alojadas en chimeneas verticales y aspirando aire frío a ras del suelo, aseguran un descenso homogéneo de las capas altas de aire, más ca-

lientes, hacia el suelo. La velocidad idónea de descenso es de tres a cinco m/hora. Este procedimiento es ventajoso ya que permite disminuir drásticamente el número de puntos de aspiración de aire a ras de suelo, así como la relación caudal de aire / superficie que se debe vehicular. Sin embargo, se hace necesario recurrir a la implantación de motoventiladores.

De un primer tanteo, basado en la utilización de los MCF en interacumuladores se deduce que, un equipo tal como el que se representa esquemáticamente en la figura 6, de unas dimensiones, alto de 4 m y base de 2x2 m, permitiría para una temperatura de cambio de fase de 5 °C y una temperatura del aire, a ras de suelo de 0°C, vehicular un caudal de aire de orden de 7500 a 10.000 m<sup>3</sup>/h, con una inversión inicial reducida y, sin necesidad de aporte externo de energía y mantenimiento.

Equipos de similar concepción, con otras temperaturas de cambio de fase, serían de aplicación en invernaderos, para:

- evitar el enfriamiento excesivo del suelo (invierno)
- reducir la temperatura ambiente (verano).

## Captación de agua del aire

Si repasamos la historia, nos encontramos que desde hace muchísimos años los hombres se las ingenieron para sacar agua de las nubes o del propio ambiente, por dos tipos diferentes de medios, intercepción de obstáculos, ramas de algunos árboles, mallas de nailón, o por condensación térmica, con piedras o bodegas aireadas, bajando la temperatura a la de rocío del ambiente. Para obtener siste-

mas estables y consistentes, es necesario que en estas instalaciones podamos mover grandes cantidades de aire y que éste sea muy húmedo y/o tener gran cantidad de frío para la condensación. Se debe tener presente, que para obtener un litro de agua del aire se necesita una energía frigorífica de 590 kcal y mover al menos un volumen de aire de 20 m<sup>3</sup>.

En general, será más sencillo retirarla el agua, cuanto más alta sea la humedad relativa y estemos a temperaturas más próximas a la de rocío. Cuando nos encontramos en islas pequeñas y en mares o corrientes de aguas calientes en los océanos, las posibilidades aumentan. El movimiento de las nubes y la orografía de la zona tendrán una gran importancia, sin necesidad de frío se puede **atrapar** el agua de las nubes.

Dado que la pluviosidad, la evaporación del terreno y de las plantas, las brisas y hasta las aguas superficiales están relacionadas con la humedad del ambiente, los estudios de obtención de agua de este, deben realizarse de forma conjunta con dichos fenómenos y realizarlos tomando largos periodos de tiempo de observación.

Los sistemas de **lluvia artificial**, con núcleos de cristalización, no han dado muy buenos resultados salvo en casos y zonas muy concretos. Tampoco pueden ser rentables métodos como instalaciones de frío mecánico, efecto Peltier junto a células solares, etc., salvo el empleo de máquinas de **absorción** que empleen la biomasa de limpieza y aprovechamiento de las plantaciones o de los bosques.

Todo proceso será estable y razonable, cuando económicamente sea rentable. El agua tiene un precio en cada lugar, función de su disponibilidad y su sistema de obtención, no puede ser más cara ésta que el transporte a dicho lugar. El precio puede variar desde 0,1 a 10 euros por m<sup>3</sup>, los sistemas de su obtención, incluido una amortización prudente, no superior a diez años, deben cubrirlo. Hay algunos casos, como puede ser de repoblación de ciertos montes, en que se puede recuperar

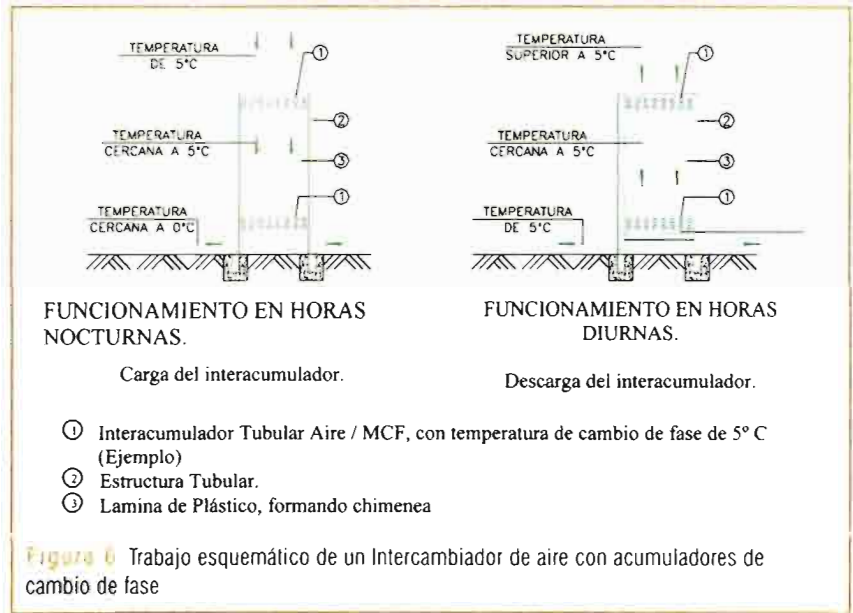


Figura 6 Trabajo esquemático de un Intercambiador de aire con acumuladores de cambio de fase

y transportar los sistemas, una vez prendido y consolidado el árbol. En estos casos, debe tenerse presente, el poder emplear los sistemas muchas veces y su efectividad en cuanto al aumento de éxito en la repoblación.

Es muy probable, que sistemas bien estudiados, con la misma o parecida filosofía a los sistemas descritos para evitar las heladas, pudieran emplearse para la obtención de agua del aire. Tal como los indicados en las figuras 5 y 6, pues por la noche se pueden solidificar y almacenar mucho frío, y por el día llevar el aire al punto de rocío y retirar el agua de la atmósfera.

En el caso de repoblaciones de árboles en los montes, es posible que sistemas similares al indicado en la figura 7, puedan dar muy buenos resultados, aprove-

chando la condensación del agua nocturna con sistemas radiantes, empleando conos de papel de aluminio, material altamente reflectante. En noches estrelladas, dado que la temperatura de las capas de la atmósfera es muy baja, pueden llegarse a temperaturas muy por debajo del punto de rocío, sobrepasando los -10 °C. En la figura 8 se han indicado la variación de la temperatura en la atmósfera en función de la altura.

Las nubes fijas en ciertas regiones, como en el valle de la Orotava en la Isla de Tenerife, se pueden explicar con la curva descrita, entre los 1.400 a 1.800 m la temperatura es igual a la de rocío y se forman las microgotas, es estos casos la posibilidad de retirar el agua es constante, los acumuladores de cambio de fase pueden facilitar el movimiento de grandes masas de aire por superficies más frías. Se recomienda consultar el trabajo [8] para los interesados en la captación del agua de la atmósfera.

En las **zonas climáticas costeras frías**, como son las de la cordillera Cantábrica en España, en donde en casi todo el año aparece el rocío en los prados naturales, con poco costo pueden conseguirse grandes cantidades de agua uniformemente repartida, que conjuntamente con invernaderos, podrían mejorar altamente la calidad de vida

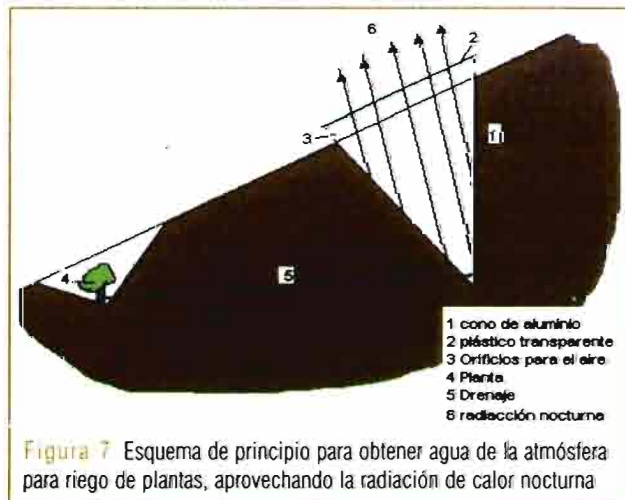


Figura 7 Esquema de principio para obtener agua de la atmósfera para riego de plantas, aprovechando la radiación de calor nocturna

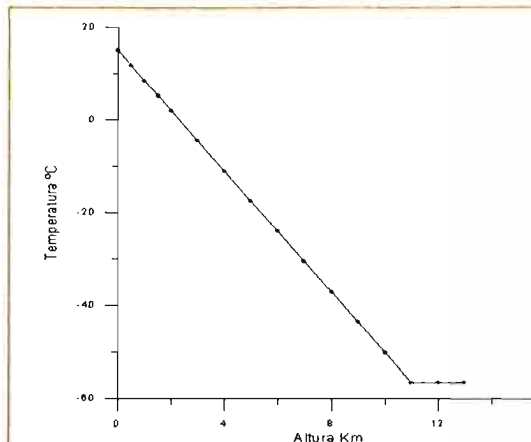
de la zona. En la **figura 9** se indica un posible sistema aprovechando las fuertes pendientes del terreno. Se puede impermeabilizar la pradera superior, recoger el agua de lluvia y de rocío, y canalizarlas a las plantas del invernadero cuando estas la necesitan.

**En cada tipo de clima y según las necesidades, se pueden estudiar y desarrollar soluciones de captación muy diversas**, las más desarrolladas y estudiadas han sido: las de zonas desiertas, nubes de ascensión por montañas, nubes estables, pero hay otras a estudiar y desarrollar a nuestro juicio importantes, como puede ser en el litoral Mediterráneo: cordilleras costeras y zonas de albuferas, depósitos reguladores de agua y de reserva para posibles incendios forestales, aprovechando la evaporación natural, plantas para detención de dunas, etc. En donde pueden darse las heladas y la necesidad de aumentar el agua, para mantener la agricultura actual tan importante.

## Aprovechamiento de fuentes térmicas residuales y renovables

En mataderos y grandes explotaciones ganaderas, se consume mucha agua, agua que en ciertos casos es necesario calentar, gastando para ello energía. En estos casos, el **frío del agua** se puede aprovechar para la climatización y el secado de pastos. Los calores residuales son importantes, el calor que produce una vaca es grande, del orden de 500 kcal/h, que puede aprovecharse para calefacción de los establos o de otras dependencias y el frío del agua que bebe, para la climatización, por ejemplo. Aparte del aprovechamiento de los residuos y la biomasa acumulando ella energía en acumuladores apropiados.

**La intermitencia entre la producción y la necesidad, de las fuentes térmicas y de las nece-**



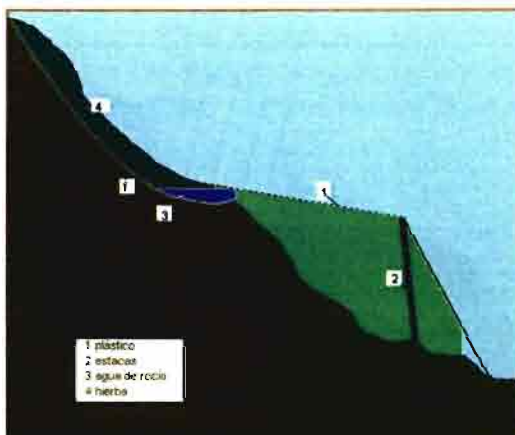
**Figura 8** Variación típica de la temperatura del aire en función de la altura

**sidades de dicha energía, se puede subsanar con el empleo de acumuladores de calor y entre estos con los de cambio de fase o MCF.**

Además de la bibliografía indicada, ya comentada, se ha recogido otra obtenida en Internet, que puede servir para ampliar lo dicho, que ha sido tratada de forma muy somera.

## Conclusión

Se considera que con un poco de dedicación a estudiar los procesos, conocer los sistemas de enfriamiento y la aplicación de los **nuevos productos capaces de acumular el calor o frío** a temperaturas adecuadas, se pueden encontrar muchos y muy interesante nuevos sistemas como los indicados para la agricultura y ganadería, que beneficie a estos secto-



**Figura 9** Posible aprovechamiento del agua de rocío y el invernadero en las montañas costeras de la Cordillera Cantábrica

res y que contribuya a no aumentar la contaminación industrial y llegar al deseado desarrollo sostenible del planeta.

## Bibliografía

- 1.- Domínguez M.; Culubret J.; Mascheroni R.H.; López P.; Pinillos J.M.; García C. CIAR 2001 VI Congreso Iberoamericano de aire acondicionado y refrigeración. La acumulación de energía con cambio de fase a temperaturas positivas en instalaciones de climatización.
- 2.- Domínguez M.; Culubret J. Nuevo sistema de climatización empleando el enfriamiento evaporativo y los acumuladores de cambio de fase. Montajes e Instalaciones. Nº 365 Oct. 2002. 53,57.
- 3.- Domínguez, M.; García C.; Pinillos J.M.; Gutiérrez P. XXIX Reunión bienal de la Real Sociedad Española de Física. 2003. mes: julio. Madrid. "Nuevas aplicaciones de los acumuladores de calor con cambio de fase en climatización". 100 RSEF VOLUMEN II. 871.872.
- 4.- Domínguez M.; García C.; Pinillos J. M.; Gutiérrez P.; Culubret J. (2003). Los acumuladores de calor con cambio de fase en la climatización. CLIMA. Nº 92 Mayo 2003. 39,44.
- 5.- Domínguez M.; Gutiérrez P.; González F.; Arias J. Mª. : Mejora de la eficiencia energética en instalaciones de climatización empleando los MCF. Avances en Ciencias y Técnicas del Frío li. 354,368. II Congreso Español de Ciencias y Técnicas del Frío CYTEF-2003. Universidad de Vigo
- 6.- Domínguez M.; García C.; Pinillos J. M.; Gutiérrez P.; Culubret J. Nuevas Aplicaciones de los acumuladores de calor con cambio de fase en la climatización (Pendiente de publicación)
- 7.- Domínguez M.; Culubret J. Eficiencia energética en las instalaciones del frío y de climatización. (Pendiente de publicación)
- 8.-Acosta A. Las precipitaciones ocultas y sus aplicaciones a agricultura. Agrometeorological Applications Associates Omex 1996. S.A.R.L B.P. 102 F-01213 Femey-Voltaire Cedex France.  
<http://waterontheweb.org/>  
<http://www.oei.org.co/sii/entrega5/art07.htm>  
<http://www.atmosfera.cl/HTML/glosario/glosario.htm>  
<http://www.elmundo.es/magazine/2003/180/1047057668.html>