

# CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

## Energías renovables

Actividades de enseñanza-aprendizaje  
para estudios en ingeniería  
agroalimentaria







**Autor Principal:** Verónica Tricio Gómez (Universidad de Burgos)

**Otros autores:** Rolando Valdés Castro (Universidad de Burgos)

### RESUMEN

Se presentan tareas de enseñanza-aprendizaje de un curso optativo de energías renovables para estudiantes del grado de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural de la Universidad de Burgos (España). La atención está centrada en actividades que abarcan las temáticas siguientes: análisis del impacto del crecimiento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en el aumento de la temperatura media de la superficie terrestre, estimación del crecimiento de la demanda mundial de energía durante las tres próximas décadas y dimensionamiento de un sistema de agua caliente sanitaria basado en el uso de la energía solar térmica. Las tareas presentadas guardan estrecho vínculo con algunas de las comunicaciones sobre esta temática ya presentadas en otros CONAMA y a las cuales se hace referencia.

Palabras clave: energías renovables; contaminación atmosférica; medio ambiente; sostenibilidad; educación superior.

### INTRODUCCIÓN

Desde el año 2000 el Departamento de Física de la Universidad de Burgos imparte el curso optativo de Energías Renovables (ER) en varios de los grados universitarios que oferta a sus estudiantes. En el caso específico del grado de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural (GIAMR), la asignatura dispone de 3 créditos (ECTS) y se desarrolla durante el último semestre de los estudios de grado. El eje central de este curso de ER es el planteamiento y la resolución de problemas atendiendo al contexto que los hace necesarios y a las perspectivas profesionales del alumnado. Los problemas planteados son abiertos y la resolución de ellos supone el estrecho vínculo de la exposición de contenidos teóricos básicos, la realización de tareas de cálculo, el diseño de instalaciones tecnológicas y el trabajo en el laboratorio. De este modo el estudio de la teoría, la realización de cálculos y los experimentos forman una unidad cuyos componentes son prácticamente indistinguibles [1]. Por otra parte, se presta especial atención a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS): Educación de calidad (4), Energía asequible y no contaminante (7).

El curso se inicia con el análisis del contexto medioambiental y económico-social del que emergen los problemas sobre la utilización de diversas fuentes de energía. Debido al poco tiempo disponible para desarrollar la asignatura, se analizan solamente dos características fundamentales de dicho contexto:

- El calentamiento global.
- El incremento continuo del consumo de energía en el planeta.

Atendiendo a los resultados del análisis realizado, a los alumnos se les plantean posteriormente, entre otras, actividades como los siguientes:

- Dimensionar una instalación para la producción de agua caliente sanitaria a partir del uso de la energía solar térmica.
- Estimar el potencial de generación eólica de electricidad [2] en un área rural de Burgos.

## ACTIVIDADES DOCENTES DESARROLLADAS

A continuación se resume el contenido principal de las actividades desarrolladas en torno a tres de las cuestiones anteriormente indicadas. La solución de cada problema planteado se descompone en una secuencia de tareas que permiten orientar el aprendizaje. Los problemas y las tareas de enseñanza-aprendizaje, serán denotados con las letras iniciales *P* y *T* respectivamente seguidas del número de orden. Por ejemplo, *T1*, *T2*...

### 1. Actividades relativas al calentamiento global

El problema que se plantea a los estudiantes para analizar el calentamiento global es el siguiente:

**P1.** *¿Cómo argumentar que el calentamiento global es eminentemente antropogénico y no solo y simplemente el resultado de procesos naturales?*

Responder la pregunta anterior requiere precisar los conceptos básicos necesarios y, para ello, se propone realizar la tarea siguiente:

**T1.** *Defina qué es el efecto invernadero de la Tierra.*

La tarea enunciada demanda esclarecer el concepto de temperatura efectiva de un astro, diferenciar el efecto invernadero de un planeta del que tiene lugar en las instalaciones agrícolas y, finalmente, precisar qué es el efecto invernadero intensificado por la actividad humana. A continuación se resumen los conceptos que analiza el profesor durante su exposición.

Temperatura efectiva de un astro. Para enunciar este concepto es clave la ley de Steffan-Boltzmann

$$E = \sigma T^4 \quad (1)$$

donde  $E$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) es la potencia de la radiación que por unidad de área emite un cuerpo negro,  $T$  (K) es la temperatura absoluta de dicho cuerpo y  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$ . A partir de los datos sobre la radiación solar incidente en la Tierra y realizando las estimaciones pertinentes con la fórmula (1) el profesor argumenta que, si la Tierra se comportara como un cuerpo perfectamente negro en equilibrio termodinámico (absorbiendo toda la energía de la radiación solar incidente y emitiendo la misma cantidad de energía por unidad de tiempo), la temperatura media del planeta sería constante y estaría en torno a  $5,4 \text{ }^\circ\text{C}$  (278 K). Sobre la base de este resultado se introduce el concepto de temperatura efectiva de un astro.

La temperatura efectiva de un astro es la que tendría un cuerpo negro cuya potencia  $E$  de la radiación por unidad de área coincidiera con la de dicho astro.

Efecto invernadero de un planeta. La atmósfera terrestre, con su equilibrada composición, es la responsable de que la temperatura media de la superficie de nuestro planeta sea aproximadamente  $14 \text{ }^\circ\text{C}$  (287 K). El efecto invernadero de un planeta es el aumento de la

## ENERGÍAS RENOVABLES. ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA ESTUDIOS EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA

---

temperatura de su superficie y de las zonas bajas de su atmósfera respecto de la temperatura efectiva, debido a procesos radiativos.

El efecto invernadero de un planeta se diferencia esencialmente del que se produce en las instalaciones agrícolas. Se debe a que un conjunto de moléculas componentes de la atmósfera absorben y emiten en todas direcciones la radiación generada por dicho planeta en función de su temperatura. En cambio, en un invernadero el aumento de temperatura se produce principalmente debido a que la cubierta de la instalación no permite que el aire caliente escape de su interior. En este caso la composición molecular del aire no desempeña un papel esencial.

Un grupo de sustancias de la atmósfera, con muy poca concentración, son las causantes del efecto invernadero de la Tierra. Durante su exposición el profesor presenta las sustancias de origen natural y antropogénico que lo producen, cuyas moléculas están formadas por más de dos átomos siempre. De otra forma serían transparentes a la radiación infrarroja terrestre. Los gases de efecto invernadero (GEI) más importantes son: vapor de agua, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), clorofluorocarbonos (CFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC), ozono ( $\text{O}_3$ ) y el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

Efecto invernadero intensificado o aumentado. El efecto invernadero ha sido necesario para el desarrollo de la vida en la Tierra tal y como la conocemos hoy. Lo verdaderamente perjudicial es su intensificación artificial debido a la actividad humana en el transcurso de algo más de un siglo. El principal gas causante del efecto invernadero aumentado es el  $\text{CO}_2$ .

Se considera que una concentración de 450 ppm de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera tiene elevada probabilidad de incrementar la temperatura media del planeta  $2^\circ\text{C}$  por encima del valor preindustrial (1870-1900). Si la concentración llegara a ser de 550 ppm, es altamente probable que la temperatura media llegue a estar  $3^\circ\text{C}$  por encima del nivel preindustrial (IPCC 2014). El incremento de  $3^\circ\text{C}$  establecería la temperatura del pleistoceno medio (de hace 3,5-3,0 Ma BP), cuando el nivel del agua era muy superior, la vegetación y la fauna muy diferentes y el género *Homo* no existía sobre la Tierra.

No basta con afirmar que el efecto invernadero intensificado se debe esencialmente a la actividad humana. Es necesario argumentarlo. Precisamente a esa argumentación está dirigida la tarea siguiente:

**T2.** *Determine qué tipo de correlación existe entre las emisiones anuales de  $\text{CO}_2$  y la anomalía  $\Delta T$  de la temperatura media de la atmósfera en la superficie terrestre.*

La anomalía de temperatura es la diferencia de la temperatura de un sistema respecto de otra denominada base y tomada como referencia. Se puede hablar de la anomalía de la temperatura del mar, de la anomalía de la temperatura media de la atmósfera en la superficie de la Tierra o de otro astro. En el caso dado se trata de la anomalía de la temperatura media de la atmósfera en la superficie terrestre. Para solucionar la tarea los estudiantes reciben en formato Excel una tabla con las estimaciones de los valores anuales de la anomalía  $\Delta T$  y de las emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. La anomalía de temperatura está hallada en relación con el promedio de los valores medios anuales del período 1951-1980.

El resultado de la resolución de la tarea se muestra en la Figura 1. El coeficiente de correlación lineal obtenido  $R = 0,914$  está dentro del rango considerado muy alto. Solamente se considera el dióxido de carbono atmosférico, haciendo abstracción del incremento de sustancias como  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , los CFC y los HCFC (de mayor forzamiento radiativo que el  $\text{CO}_2$ ). Es de esperar que, si se tuvieran en cuenta todos los gases emitidos por la actividad humana que contribuyen al efecto invernadero, el coeficiente de correlación sería aún mayor. Para ello sería necesario expresar en toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalentes la masa de los otros gases de efecto invernadero generados por el hombre. Por la repercusión que tienen en el calentamiento global, las sustancias indicadas se consideran contaminantes atmosféricos.

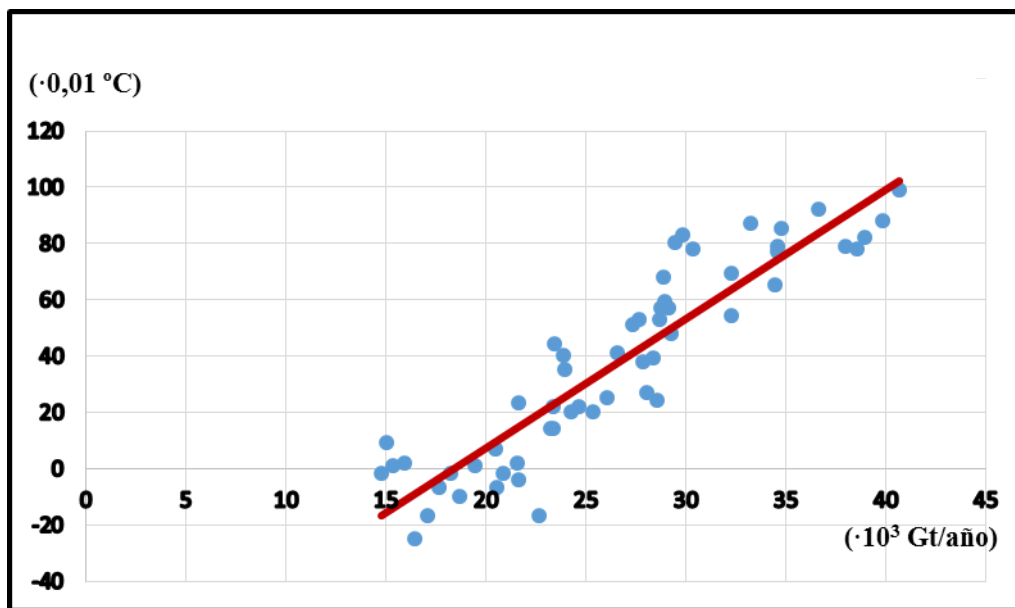


Figura 1. Anomalía térmica respecto de las emisiones de  $\text{CO}_2$

En resumen, la resolución de la tarea contribuye a la justificación de que la actividad del hombre, y particularmente la producción de  $\text{CO}_2$ , es la principal causante de la intensificación del fenómeno. Para profundizar sobre esta temática conviene que los estudiantes revisen los resultados de las simulaciones hechas sobre la repercusión de la actividad humana en el calentamiento global [3].

Después de argumentar el papel de la actividad humana en el cambio climático, conviene que los alumnos consideren lo que podrían esperar si la sociedad continuara incrementado el consumo y la producción de mercancías con la misma tendencia que hasta el presente. Con ese objetivo se plantea la tarea siguiente.

**T3.** Ajustar un polinomio de segundo grado a los datos de concentración de  $\text{CO}_2$  y de tiempo  $t$  dados. Utilizar la función ajustada para estimar las fechas a partir de las cuales se superarían los valores críticos de concentración 450 ppm y 550 ppm de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre, si la humanidad continuara incrementando el consumo y la producción de mercancías con la misma tendencia que hasta el presente.

La solución de la tarea se muestra en el gráfico de la Figura 2. Resolviendo una ecuación de segundo grado se obtiene que hacia 2038 se alcanzarían las 450 ppm y hacia 2070 las 550 ppm. Son fechas que se encuentran dentro de la esperanza de vida de la generación actual de



estudiantes, que en el transcurso de sus vidas observarán cambios ambientales sin precedentes. Si en tan poco tiempo la temperatura del planeta llegara a ser la del pleistoceno medio, más que observar la aparición de nuevas especies biológicas que pudiéramos aprovechar para nuestro sustento, asistiríamos a la desaparición de una buena parte de ellas. El profesor subraya que el modelo matemático utilizado no atiende a las causas del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> y en ese sentido es extraordinariamente limitado. No obstante, permite conseguir resultados similares a los que se obtendrían con descripciones más completas [4], [5].

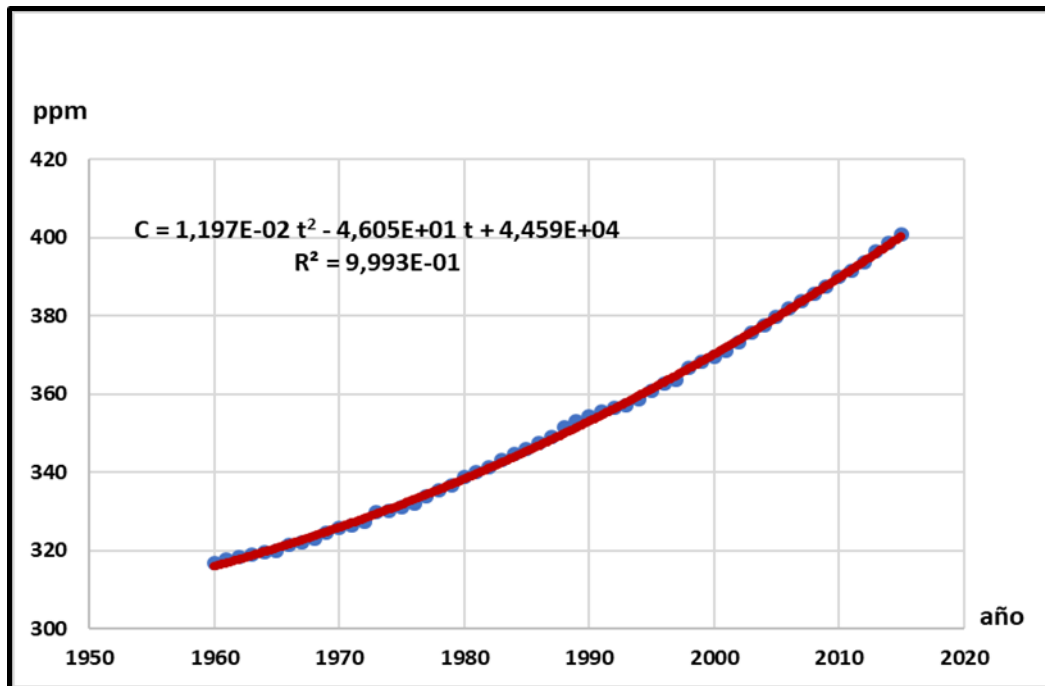


Figura 2. Variación de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico

La resolución de las tareas T2 y T3 contribuyen a que los estudiantes tomen mayor conciencia de que mitigar los efectos del cambio climático y reducir las emisiones de dióxido de carbono es, además de urgente, impostergable para preservar la vida del planeta como hoy la conocemos y conservar el bienestar alcanzado por la humanidad.

## 2. Actividades docentes relativas al incremento del consumo mundial de energía

El incremento del consumo y la producción mundial de mercancías estimula la investigación e innovación en torno a la búsqueda y uso de tecnologías para satisfacer la demanda energética asociada. En relación con esta situación, tiene sentido plantear el problema siguiente:

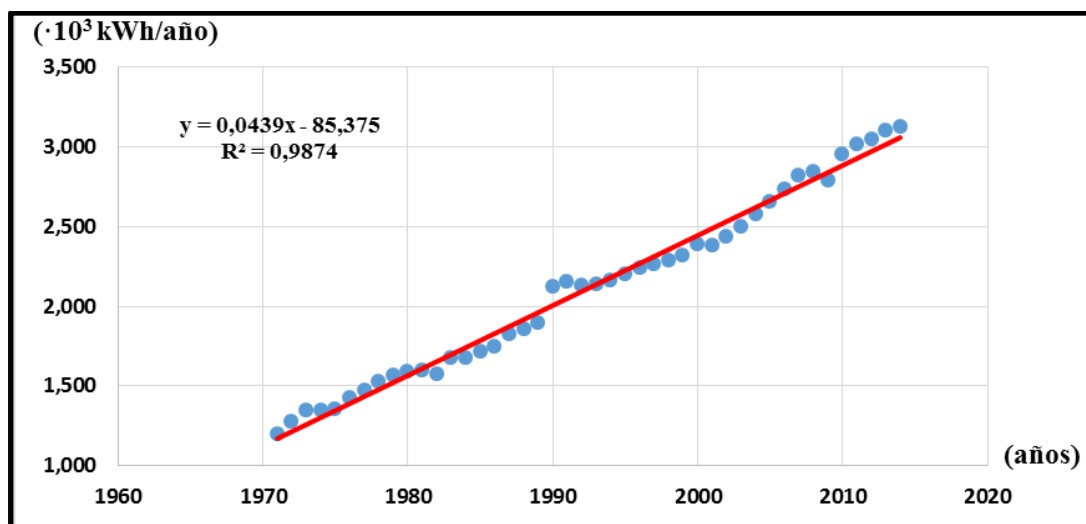
**P2.** *¿Podría llegar el momento en que, de seguir consumiendo y produciendo prácticamente con las mismas tecnologías y criterios psicosociales, fuera imposible satisfacer la demanda mundial de energía? ¿Cuán cercano puede estar ese momento?*

## ENERGÍAS RENOVABLES. ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA ESTUDIOS EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA

Para que los estudiantes comprendan la magnitud del incremento del consumo mundial de energía resuelven las tareas que a continuación se plantean y cuyas soluciones se esbozan.

**T1.** Utilizando la tabla de variación del consumo per cápita global de energía eléctrica  $E_p$  desde 1971 hasta 2014. Halle una tendencia de crecimiento que se ajuste razonablemente a los datos. ¿Qué consumo per cápita de energía eléctrica esperaría usted para el año 2055?

Utilizando la tabla de valores confeccionada y proporcionada por el profesor [6], los alumnos obtienen una gráfica como la presentada en la Figura 3. El crecimiento del consumo energético durante los últimos 40 años tiene una tendencia que puede ser considerada lineal, con un coeficiente de correlación muy alto. Suponiendo que dicha tendencia se mantuviera durante los próximos 35 años, el consumo energético per cápita 2055 podría alcanzar el valor de  $4,84 \cdot 10^4$  kWh al año. Esto es aproximadamente 1,5 veces el correspondiente a 2014 ( $3,13 \cdot 10^4$  kWh/año).



**Figura 3.** Crecimiento del consumo per cápita de energía

Para estimar el posible consumo bruto mundial de energía es indispensable considerar el incremento de la población humana en el planeta. Con este fin se utilizan las estimaciones de población de la división de estadística de ONU [7]. Ello permite plantear a los alumnos la tarea siguiente:

**T2.** En 2014 la población del planeta era aproximadamente 7295 millones de habitantes y se calcula que hacia 2050 llegue a unos 9958 millones. Estime el consumo mundial de energía eléctrica hacia los años 2014 y 2055.

A partir de las estimaciones de consumo per cápita de energía y de la cantidad de habitantes del planeta se obtienen los resultados siguientes. El consumo global de energía era aproximadamente  $2,3 \cdot 10^4$  TWh en 2014 y podría estar en torno a  $4,8 \cdot 10^4$  TWh hacia 2055. Es decir, en unos 40 años se duplicaría prácticamente. Debido al enorme incremento de la producción y consumo de mercancías, el aumento de los precios de la generación de energía está hoy en el origen de tensiones económicas y grandes conflictos geopolíticos. ¿A qué situación nos podría conducir que se duplicara la demanda global de energía, si seguimos produciendo prácticamente con las mismas tecnologías y criterios psicosociales?

## ENERGÍAS RENOVABLES. ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA ESTUDIOS EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA

Los Cuadros 1 y 2 resumen las soluciones de las tareas relativas al contexto para el planteamiento de problemas sobre el uso de las energías renovables. La variable  $\Delta T$  representa el posible aumento de la temperatura media de la atmósfera en relación con el valor preindustrial (1850-1900),  $E_p$  denota el consumo per cápita de energía eléctrica,  $N$  es el número de habitantes del planeta y  $E$ , el consumo global de energía.

**Cuadro 1.** Estimaciones de concentración de CO<sub>2</sub> e incrementos de temperatura

Fechas	Concentración de CO <sub>2</sub>	$\Delta T$	Efectos
2040	450 ppm	2 °C	Significativo deterioro ambiental
2070	550 ppm	3 °C	Temperatura del Pleistoceno medio (3,5-3,0 Ma BP)

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 2.** Estimaciones de consumo energético

Fecha	$E_p$ (kWh · año <sup>-1</sup> )	$N$ (10 <sup>6</sup> )	$E$ (10 <sup>3</sup> ·TWh · año <sup>-1</sup> )
2014	3128	7295	23
2055	4866	9958	48

Fuente: Elaboración propia

Frente al calentamiento global y con las formas actualmente predominantes de producir y consumir, es imposible satisfacer el aumento previsto de la demanda energética mundial. Si la sociedad continuara con su actual tendencia de consumo de mercancías, basar la economía de los países en el uso de combustibles fósiles conduciría a una catástrofe sin precedentes para la humanidad. No queda más remedio que buscar alternativas a esas formas predominantes de producción y una de ellas es la utilización de fuentes renovables sustentadas en la prácticamente inagotable energía del Sol. El ahorro de energía y el empleo preponderante de fuentes renovables podrían contribuir significativamente a contrarrestar el cambio climático y al desarrollo humano sostenible.

### 3. Actividades sobre el dimensionado de una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria

Al abordar el aprovechamiento de la energía solar térmica, el curso centra la atención en las instalaciones de baja temperatura (que funcionan por debajo de 100 °C). No obstante, también se describen las instalaciones de media y altas temperaturas, incluyendo la realización de algunas demostraciones experimentales.

La producción de agua caliente sanitaria es el caso típico de aprovechamiento de la energía solar térmica de baja temperatura. Al analizar esta temática los alumnos estudian la estructura y el principio de funcionamiento del colector solar plano. Ello permite plantear el problema siguiente:

**P3.** *¿Cómo determinar las características que deben tener un colector solar plano y otros componentes fundamentales de una instalación para la producción de agua caliente sanitaria?*

Una de las características principales del colector solar plano es su rendimiento, para cuyo estudio los alumnos realizan una práctica de laboratorio, solucionando la siguiente tarea.

**T1.** *Determine los coeficientes de la función característica del rendimiento de un colector solar plano.*

La Figura 4 es una imagen de la instalación experimental utilizada.



**Figura 4.** Modelo experimental de instalación de agua caliente sanitaria

El rendimiento de un colector solar plano se define como

$$\eta = \frac{q_f}{AI} \quad (2)$$

donde  $q_f$  es la energía calorífica que por unidad de tiempo el fluido extrae del colector,  $A$  es el área de la placa captadora e  $I$ , la irradiancia solar incidente sobre la cubierta del equipo.

Para estimar la energía calorífica  $q_f$  que por unidad de tiempo el fluido extrae del colector, se miden el flujo volumétrico de agua a la entrada del colector y las temperaturas del agua  $T_e$  y  $T_s$  a la entrada y salida del aparato respectivamente. Conocidas la densidad y la capacidad calorífica del agua se halla  $q_f$ . La irradiancia  $I$  se mide con un piranómetro.

Durante el experimento el colector solar (1) es iluminado con la lámpara (2). La lámpara se sitúa a una distancia tal del equipo como para que la irradiancia sobre su superficie sea igual a  $1000 \text{ W/m}^2$ . La temperatura de color de la radiación luminosa incidente es similar a la del Sol. El dispositivo permanece acoplado a un acumulador de agua térmicamente aislado (3). El agua fluye de un componente a otro de la instalación a través de un circuito cerrado. De este modo, se incrementan paulatinamente las temperaturas de entrada  $T_e$  y de salida  $T_s$  del agua en el colector.

La función característica del rendimiento del colector es

$$\eta = a + b \frac{(T_e - T_a)}{I_n} \quad (3)$$

donde  $a$  y  $b$  son dos coeficientes a determinar, que se pueden considerar constantes,  $T_a$  y  $T_e$  son las temperaturas del ambiente y del agua a la entrada del colector e  $I_n$  es la irradiancia correspondiente a la incidencia normal de la luz solar.

A partir del estudio realizado sobre el rendimiento del colector solar, los alumnos solucionan la siguiente tarea:

**T2.** *¿Se podría alcanzar y mantener una temperatura media del agua caliente igual 55 °C un día con temperatura ambiente  $T_a = 10$  °C e irradiación media diaria  $I = 320 \text{ Wm}^{-2}$  si se utiliza un acumulador con un colector solar cuyo rendimiento responde a la relación  $\eta = 0,80 - 6,5 \frac{(T_e - T_a)}{I}$ ? ¿Sería posible si la temperatura del acumulador fuera de 45 °C?*

Después de estudiar los componentes, el principio de funcionamiento y el rendimiento del colector solar plano, los alumnos analizan la estructura general de un sistema para la producción de agua caliente sanitaria el cual incluye, además del colector y el acumulador de agua, la fuente suplementaria de calentamiento (preferentemente alimentada con energía fotovoltaica o eólica), las tuberías de conexión, dispositivos para la regulación automática y el aislamiento térmico. Los alumnos también examinan los principales esquemas de conexión de los colectores y acumuladores. Lo hacen orientados por el profesor y utilizando la bibliografía apropiada [8].

Seguidamente los estudiantes solucionan la tarea siguiente:

**T3.** *Defina las características generales de una instalación para la producción de agua caliente sanitaria a 45 °C con colectores solares cuya placa de absorción tiene una superficie útil  $S = 1.95 \text{ m}^2$ . Considere que se trata de colectores solares actualmente disponibles en el mercado y que la instalación estará situada en un lugar con clima templado o tropical del hemisferio norte.*

Con la finalidad de orientar la labor de los alumnos, el profesor orienta la resolución de la tarea descomponiéndola en una secuencia actividades más elementales:

- Defina la cantidad de usuarios que deberá satisfacer el sistema de calentamiento.
- Estime el volumen de agua que debe ser calentado diariamente y la capacidad del acumulador.
- Determine la superficie de captación solar y el número de colectores necesarios para satisfacer la demanda de agua caliente.
- Defina la orientación del colector solar en relación con los puntos cardinales y la inclinación respecto de la horizontal.

El profesor propone cada actividad de la secuencia indicada, cuando ya ha sido solucionada la precedente y la siguiente resulta necesaria.

## ENERGÍAS RENOVABLES. ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA ESTUDIOS EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA

Sea  $V$  el volumen estimado de agua que debe ser calentada diariamente,  $N$  el número de usuarios y  $v$  el volumen estimado de agua caliente consumida por usuario al día. Es claro que

$$V = Nv \quad (4)$$

El valor de  $v$  se establece a partir de estudios estadísticos. El Cuadro 3 presenta algunos datos orientativos, entendiendo por usuario una persona, una cama de hotel u hospital o una ducha de instalación deportiva.

**Cuadro 3.** Datos orientativos de consumo diario

Tipo de instalación	Volumen de consumo diario $v$ en litros por usuario		
	Persona	Cama	Ducha
Vivienda unifamiliar	40		
Vivienda multifamiliar	30		
Hotel		70	
Hospital		80	
Centro deportivo			20

Fuente: Ortega 2002

Tiene utilidad práctica estimar la capacidad  $C$  del acumulador conforme a la siguiente relación

$$0.8V \leq C \leq V \quad (5)$$

Con la finalidad de determinar la superficie de captación solar se procede de la manera siguiente. Sea  $A$  el área total de la superficie útil de captación solar,  $S$  la superficie útil (de la placa absorbente) del colector utilizado y  $P$  la producción diaria dada en  $L/m^2$  de superficie útil del colector solar.

En dependencia de las condiciones climáticas para las que se realiza el diseño, la producción  $P$  es muy variable. El Cuadro 4 muestra estimaciones de  $P$  hechas para los colectores actualmente existentes en el mercado, cuando funcionan en los climas templado y tropical.

**Cuadro 4.** Estimaciones de la producción  $P$

Clima	Producción $P$ ( $L / m^2$ )
Templado	85
Tropical	100

Fuente: Ortega 2002

Conocido el volumen medio  $V$  (en litros) de agua sanitaria demandada diariamente, se obtiene

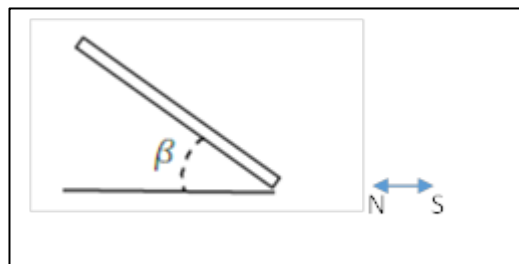
$$A = \frac{V}{P} \quad (6)$$

Dada la superficie útil  $S$  del tipo de colector utilizado, se determina la cantidad  $N_p$  de módulos que serán utilizados

$$N_p = \text{Int} \left( \frac{A}{S} \right) + 1 \quad (7)$$

donde la función Int supone hallar la parte entera del cociente  $A / S$ . El uso de la función Int se debe a que no pueden ser empleadas porciones de un colector y la adición de la unidad es una aproximación por exceso en favor de la fiabilidad de la instalación. Esa aproximación tiene sentido siempre que no implique un gasto económico excesivo para el usuario.

En el hemisferio norte el movimiento visible del Sol por la bóveda celeste es de este a oeste pasando por el sur. De ahí que la superficie de captación de la radiación deba orientarse hacia el sur.



**Figura 4.** Ángulo de inclinación del colector solar

Para decidir el ángulo de inclinación  $\beta$  del colector solar (Figura 4) respecto de la horizontal ha de considerarse:

- La latitud  $\varphi$  del lugar de emplazamiento.
- La inclinación del eje de rotación de la Tierra  $\alpha = 23.45^\circ$  respecto de la normal al plano de la órbita.

Si se pretende aprovechar al máximo la energía en los meses de verano (junio, julio agosto septiembre), es razonable determinar el ángulo de inclinación del colector respecto a la horizontal utilizando la relación

$$\beta = \varphi - \alpha \quad (8)$$

Por el contrario, si se desea optimizar el aprovechamiento energético en los meses de invierno (diciembre, enero, febrero, marzo), se puede utilizar la expresión

$$\beta = \varphi + \alpha \quad (9)$$

En caso de que el objetivo sea la optimización anual del uso de la energía se puede considerar  $\beta = \varphi$  o, mejor, determinar el ángulo de inclinación con la fórmula

$$\beta = \varphi + \frac{\alpha}{2} \quad (10)$$

La fórmula (10) permite que la captación de la radiación sea relativamente elevada durante los meses más fríos y que, al propio tiempo, se aproveche razonablemente la instalación durante resto del año.

El profesor argumenta el uso de las fórmulas (8-10) sobre la base del análisis del movimiento de la Tierra en torno al Sol, considerando el ángulo de inclinación del eje de rotación de nuestro planeta respecto del plano de su órbita y suponiendo que los rayos solares son paralelos entre sí cuando llegan a la superficie de captación. Señala además que el análisis realizado, aunque útil, es muy sencillo y existen modelos matemáticos que permiten estimar mucho mejor las orientaciones óptimas de las superficies colectoras.

## CONCLUSIONES

Con el objetivo de proporcionar una idea general de la metodología de enseñanza-aprendizaje utilizada a lo largo del curso de ER, han sido presentadas solamente algunas de las actividades realizadas. En adición a la práctica de laboratorio esbozada, cada alumno realiza tres más en término medio. Por ejemplo, como parte del estudio sobre instalaciones térmicas solares de baja temperatura, los estudiantes analizan el funcionamiento de secaderos solares [9]. Al analizar las instalaciones de media temperatura estudian y experimentan con un motor de Stirling.

Una parte importante de la asignatura es la estimación del potencial de producción eólica de electricidad, la cual se lleva a cabo mediante un sistema de tareas similar al descrito en este trabajo [2].

Para evaluar a los estudiantes el profesor precisa los logros y las limitaciones de la labor que van realizando durante la resolución de las tareas planteadas. Sobre esta base les indica cómo pueden continuar avanzando en el estudio de la materia. Los alumnos concluyen el curso con la presentación de un informe detallado de todo el trabajo que llevaron a cabo. Un aspecto a tratar en el informe es la propuesta de nuevos temas de estudio o problemas de interés sobre el uso de las energías renovables.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Gil, D. y Valdés, P. (1995). *Contra la distinción clásica entre "teoría", "prácticas experimentales" y "resolución de problemas": el estudio de las fuerzas elásticas como ejemplo ilustrativo*. Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Nº 9, 3-25.
- [2] Rodríguez, L.R., Valdés, R., Tricio, V., y Lucio, J. H. (2016). *Estimaciones acerca de la producción de energía eléctrica mediante aerogeneradores. Una experiencia docente en grados de ingeniería*. Comunicación técnica en formato escrito del CONAMA2016, (nº páginas, 12), ISBN 978-84-617-7390-9.  
<http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2016/CT%202016/1998971876.pdf>
- [3] IPCC (2014). *Cambio Climático 2014. Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas*. [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf)
- [4] Valdés, P., y Valdés, R. (2014). *Estudio del aumento de la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico en un curso universitario inicial de ciencias*. Revista Iberoamericana de Educación nº 65/2-15/07/2014.



- [5] Valdés, R., Rodríguez, L., Lucio, J.H., y Tricio, V. (2016). *Estudio del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en cursos universitarios de energías renovables y sostenibilidad*. Comunicación técnica en formato escrito del CONAMA2016, (nº de páginas 24), ISBN 978-84-617-7390-9.  
<http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2016/CT%202016/1998973606.pdf>
  
- [6] International Energy Agency (IEA). *Terms and conditions*. Acceso 25 Jun 2019 <https://www.iea.org/t&c/termsandconditions/>
  
- [7] UN (2019). *World Population Prospect*. Acceso 22 Jun 2020 <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>
  
- [8] Ortega, M. (2002). *Energías Renovables*, pp. 33-49. PARANINFO. Madrid
  
- [9] Valdés Castro, R., Tricio Gómez, V., Rodríguez Cano, L., (2018). *Secadero solar como recurso didáctico en un laboratorio docente de energías renovables*. Comunicación técnica pp. 1-20, en *Rumbo 2030, CONAMA 2018*, 26-29 de noviembre.  
<http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2018/CT%202018/222224246.pdf>.