

ENERGÍA: CARACTERÍSTICAS Y CONTEXTOS

DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED



ESCRITURA EN CIENCIAS

DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED
DOCENTES APRENDIENDO EN RED



Instituto Nacional
de Formación Docente
Ministerio de Educación
Presidencia de la Nación

Presidenta de la Nación
Cristina Fernández De Kirchner

Ministro de Educación
Alberto Sileoni

Secretaria de Educación
Jaime Perczyk

Secretario del Consejo Federal de Educación
Daniel Belinche

Secretario de Políticas Universitarias
Martín Gil

Subsecretario de Planeamiento Educativo
Marisa del Carmen Díaz

Subsecretaria de Equidad y Calidad
Gabriel Brener

Instituto Nacional de Formación docente
Verónica Piovani

Dirección Nacional de Formación Docente e Investigación
Andrea Molinari

Coordinadora de Investigación Educativa del INFD
Inés Cappellacci

PRESENTACIÓN

Los libros que se presentan en esta edición son el resultado de la segunda etapa del dispositivo Escritura en Ciencias, desarrollado durante los años 2011-2012 en el Instituto Nacional de Formación Docente y cuyos principales protagonistas fueron profesores de institutos de formación docente de las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Chubut, Córdoba, Entre Ríos, Formosa, Neuquén, San Luis, Santa Cruz, Santa Fe, Santiago del Estero y Tucumán.

Los libros que se produjeron en esta ocasión, corresponden a los siguientes títulos:

7. Ecosistemas terrestres
8. Ecosistemas acuáticos
9. El big bang y la física del cosmos
10. Cambio Climático
11. Energía: características y contexto
12. Epidemias y Salud Pública

La génesis de este proyecto se inspiró en el programa Docentes Aprendiendo en Red del Sector Educación de la Oficina de UNESCO, Montevideo. Esta experiencia innovadora en nuestro país, reunió a 30 profesores de diferentes provincias que, a través de un trabajo colaborativo, escribieron seis libros sobre contenidos de problemáticas actuales de las ciencias naturales.

Haber escrito los seis primeros libros de la colección¹ durante 2010-2011 supuso para la continuidad algún camino allanado. Este segundo ciclo estuvo marcado por una inusitada resonancia de la edición anterior del proyecto, verificada en encuentros con profesores de diferentes provincias, interesados en conocer los materiales y saber más sobre la propuesta. Por esta razón deseamos compartir algunas reflexiones sobre el desarrollo del proceso.

Un eje central del proyecto se asienta en la escritura y su potencial, no sólo como posibilidad de difusión del saber de los profesores, sino como un medio para hacer de lo vivido en el propio trabajo, un objeto de experiencia. Es decir, una oportunidad de generar cierta ruptura de lo sabido y conocido respecto a lo

1 1. Los plaguicidas, aquí y ahora; 2.H2O en estado vulnerable; 3. Del Gen a la Proteína; 4.La multiplicidad de la vida; 5. Cerebro y Memoria; 6. La evolución biológica, actualidad y debates.

que suscitan temas actuales de la agenda de las ciencias naturales y codificarlo en el lenguaje docente. Por eso, los textos comunican el resultado de un ejercicio reflexivo en el que la escritura actúa como un importante mediador.

Los docentes han pasado durante un año con escrituras sometidas a ciertas condiciones para poder funcionar: cumplir plazos, compartir con los pares, discutir los temas, los avances, realizar y recibir devoluciones que impliquen lecturas atentas y cuidadosas de otras producciones y a la vez, ofrecer las propias al juicio de los colegas. Todas estas actividades se inscriben en un dispositivo capaz de darles cabida y que invita a los profesores a constituirse en autores de textos de temáticas muy específicas de las ciencias naturales.

Si bien la invitación se cursa a los profesores, no se trata de una invitación al trabajo individual, sino que se convoca a un trabajo colectivo, con alto grado de colaboración. Este es un aspecto muy difícil de construir y donde creemos que radica buena parte de la adhesión con la que cuenta este proyecto. Dos aspectos se conjugan, a nuestro juicio, en esta dificultad, uno asociado a la misma matriz de la docencia que sugiere un trabajo solitario y alejado de las visiones de los pares. El otro, ligado a reorganizar la representación de que la escritura no es una práctica que pueda resolverse con la sola intención y voluntad de escribir: requiere otras condiciones.

Los textos de Escritura en Ciencias tienen un tiempo de gestación y re-trabajo, surgidos de un boceto inicial provisorio, sobre la temática sugerida y donde comienza la transformación de las ideas preliminares que, a medida que transcurre el proceso, ponen más de una vez en el centro la dificultad de hallar el recurso a emplear para expresar y expresarse de la manera más clara y más efectiva sobre temas de actualidad científica, difíciles y complejos de sobrellevar. La tarea se apoya con una plataforma virtual que colabora para que los profesores puedan sortear la distancia y sostener la tarea grupal de escribir.

El avance del boceto, al tiempo que se estudia y se profundiza un tema se convierte en la tarea cotidiana que no es una tarea libre y excesivamente centrada en la subjetividad de cada autor, sino que se somete a la previsión acordada con el grupo y a los tiempos que el coordinador va marcando, a fin de que la tarea pueda concretarse en los tiempos estipulados para el proyecto.

A esta exigencia se suma la actitud con la que se solicita leer los borradores. Para ser consecuentes con el proceso de avance de un texto, la lectura primera que abre el juego a las devoluciones entre pares requiere estar enfocada más que en la forma “correcta” de cómo lo dice, hacia lo que su autor intenta decir. Lo que interesa es que el pensamiento comience a manifestarse a través de la pa-

labra escrita. Seguramente al inicio las producciones tienen un limitado alcance, pero el ejercicio resulta muy fecundo en cuanto primera oportunidad para darse a leer y poner oídos a las devoluciones que recibirá. Este primer disparador abre un campo de expectativas de inusitado valor como motor de todo el proceso siguiente.

Los momentos de zozobra, de exposición necesaria, implícitos en el darse a leer, tienen la función de colaborar para que se produzca el desapego hacia el resultado inmediato y exitoso de la empresa de escribir. Quizá es una de las rupturas más importantes a los modos habituales que tenemos de posicionarnos frente a la propia palabra. Ingresar las incertidumbres y angustias propias en la propia escritura, reconocerse como parte de una obra que empieza a tomar forma y que poco a poco, comienza a ser reconocida como común entre los grupos, representa aquello que sostiene frente a la tendencia a huir ante la primera gran dificultad.

La experiencia que transitamos durante este tiempo demuestra que los profesores tienen interés por escribir y mejorar sus escrituras. Y concluyen con la idea de que sus producciones han devenido en textos que otros educadores pueden conocer, estudiar y abonar con ellas su propio trabajo.

Una primera cuestión para destacar, la disposición y el entusiasmo que despierta en cada edición "Escritura en ciencias" se debe quizá al hecho de que los autores de los textos son los mismos profesores: Docentes de los institutos que escriben para sus colegas. Lo inusual de esta iniciativa es ligar la autoría a la docencia, previniendo con esta atribución que este discurso no es una palabra cotidiana, indiferente y que puede consumirse inmediatamente, sino que se trata de una palabra que debe recibirse de cierto modo y recibir, en una cultura dada, un cierto estatuto, como sostiene Foucault.

La segunda cuestión relevante refiere al compromiso de estudiar, profundizar sobre el tema elegido, hacer de ello un objeto de estudio y de problematización. La búsqueda de material bibliográfico, las discusiones e intercambios con los colegas y con investigadores de referencia, el trabajo en talleres presenciales, entre otras, son acciones que imprimen una lógica diferente al trabajo y sirven de indicador de la buena disposición que tienen los docentes para vincularse con el conocimiento.

Recuperar los saberes de los profesores, ponerlos en valor en una publicación significa una buena parte de la atracción que ejerce el proyecto sobre cada uno de los participantes. Quizá porque asumir la posición de autores les asigna una doble responsabilidad, para sí mismo y para los demás, que hay que trami-

tar durante el proceso. Dar cuenta de lo que escribe, de cada argumentación que se sostiene, hacer de esta práctica una tarea habitual que se juega en cada encuentro, frente a coordinadores, a otros colegas, sirve de foro de discusión colectiva para mostrar y mostrarse en la vulnerabilidad que todo acto de escribir para otros coloca.

Los seis libros que sumamos a esta colección tienen una estructura experimentada en la edición anterior, cada capítulo de autoría individual, a la que quisimos sumar otra apuesta proponiendo a los profesores un ejercicio ligado a su oficio en clave de propuestas enseñanza de las ciencias. El capítulo de cierre de cada uno de los libros de esta edición tiene autoría compartida, contiene propuestas, reflexiones, ideas para pensar la enseñanza de cada uno de los temas.

Esta nueva presentación abona otra vez el deseo de que la autoría de los docentes se convierta en un componente relevante de la propuesta formativa, y sea bienvenida en este conjunto de producciones que codifican y comunican temas de la actualidad científica en el lenguaje de la docencia. Y en el encuentro que toda escritura persigue con las lecturas de otros (docentes, alumnos) den lugar a otros textos que reorganicen la experiencia de la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia.

Liliana Calderón
Coordinación Escritura en Ciencias

ESCRITURA EN CIENCIAS

ENERGÍA: CARACTERÍSTICAS Y CONTEXTOS

Autores:

Juan Manuel Martínez

Nancy Sisca

Ebiana Marey

Sandra Caminaur

Mario Rolando Molina

Orientación y asesoramiento científico: José Natera

Coordinación de Escritura: Marcelo Alejandro Diez

Autores

Juan Manuel Martínez
Nancy Sisca
Ebiana Marey
Sandra Caminaur
Mario Rolando Molina

Equipo Escritura en Ciencias del Instituto Nacional de Formación Docente

Liliana Calderón, Carmen E. Gómez y Antonio Gutiérrez

Orientación y asesoramiento científico

José Natera

Coordinación de escritura

Marcelo Alejandro Díez

Diseño editorial

Renata Kándico, Gastón Genovese www.estudiolate.org

Hecho el depósito que establece la ley 11.723

“Los textos de este libro son copyleft. El autor y el editor autorizan la copia, distribución y citado de los mismos en cualquier medio y formato, siempre y cuando sea sin fines de lucro, el autor sea reconocido como tal, se cite la presente edición como fuente original, y se informe al autor. La reproducción de los textos con fines comerciales queda expresamente prohibida sin el permiso expreso del editor. Toda obra o edición que utilice estos textos, con o sin fines de lucro, deberá conceder estos derechos expresamente mediante la inclusión de la presente cláusula copyleft.”

Energía: características y contexto / Juan Manuel Martínez ... [et. al.]. - 1a ed. - Buenos

Aires : Ministerio de Educación de la Nación, 2013.

196 p. ; 21x15 cm. - (Escritura en ciencias; 11)

ISBN 978-950-00-0991-1

1. Formación Docente. 2. Enseñanza de las Ciencias. I. Juan Manuel Martínez

CDD 371.1

Fecha de catalogación: 25/02/2013

ÍNDICE

Presentación	5
Introducción	15
Capítulo I: Cuestiones generales sobre Energía y sus implicaciones	19
Juan Manuel Martínez	
Acuerdos iniciales para comprender el texto	19
Miles de ideas sobre energía y entre ellas... la nuestra	20
Características básicas del concepto científico de energía	22
Transformación	24
Transferencia o Transmisión	25
Interacciones del sistema con su entorno	28
Las maneras básicas de transferir energía	32
Conservación y degradación	44
Conservación de la energía	44
Degradación de la energía	47
Una primera aproximación a la definición de energía	50
Sistema de unidades y energía	50
A modo de conclusión de capítulo	51
Capítulo II: Recursos energéticos y Política energética	53
Nancy Sisca	
Recursos energéticos, ubicación y disponibilidad	53
Recursos no renovables en Argentina	55
Carbón	55
Petróleo	58
Gas natural	59
Uranio	63
Litio	66
Silicio	68
Recursos renovables en Argentina	70
Sol	70

Viento	72
Agua	74
Biomasa	76
Calor interno de la tierra	77
Matriz energética y Política energética nacional	79
¿Cómo seguimos?	81
Capítulo III: El agua, un recurso energético renovable	83
<i>Ebiana Marey</i>	
El mar como recurso energético	84
Dispositivos que capturan agua	87
Dispositivos que aprovechan las crestas y los valles de las ondas ma- rinas	88
¿Y por casa como andamos?	92
La energía hidráulica	93
La microhidráulica es otra opción	95
¿Que tipo de centrales microhidráulicas existen?	96
¿Por qué apostar a la micro hidráulica?	98
Hidrogeno... ¿presente o futuro?	99
¿El hidrógeno es un recurso energético?	100
¿Por qué hidrógeno?	101
¿Cómo se obtiene el hidrógeno?	101
Almacenamiento del hidrógeno	104
¿Qué sucede con el transporte del hidrógeno?	107
Capítulo IV: Energía del Sol y del Viento	109
<i>Sandra Caminaur</i>	
A partir del sol y del viento	109
Estructura y composición del sol	109
Aprovechamiento de la energía solar	111
Cuando la energía solar se transforma en energía térmica	112
Cuando la Energía Solar se transforma directamente en Energía Eléc- trica	115
Con las celdas fotovoltaicas, se consigue electricidad sin el uso de un generador... ¿pero cómo?	115
Y en nuestro país ¿qué se está haciendo?	117

Desde el Viento	118
Estructura y clasificación de los aerogeneradores	119
El aprovechamiento de la energía eólica	121
Y en nuestro país, ¿Qué se está haciendo?	122
Sistemas híbridos	124
Capítulo V Energía a partir de la Biomasa	127
Mario Rolando Molina	
Algunas definiciones	127
La biomasa y su origen	128
Historia del uso de la biomasa como combustible	128
Generación de la biomasa	129
La fotosíntesis	129
Biosfera y biomasa	132
Ventajas e inconvenientes de la Biomasa	132
Tipos y usos de combustibles de la Biomasa	134
Usos de la biomasa sin transformación previa	134
Transformaciones fisicoquímicas de la biomasa	136
Transformaciones biológicas de la biomasa.	142
Hidrógeno por fermentación	146
Hidrogeno por procesos fotobiológicos	146
Biodiesel como vector energético	147
Historia del biodiesel	147
Recursos para el biodiesel	149
Proceso de elaboración	150
Beneficios e inconvenientes del biodiesel	152
Biogás como vector energético	154
Historia del biogás	154
Recursos para biogás	155
Proceso de elaboración	155
Factores que afectan la producción de biogás	156
Instalaciones para producir biogás	158
Beneficios y desventajas del biogás	161

Capítulo VI: Ideas para la construcción del concepto de energía en la formación docente	163
Las ideas e intenciones con las que presentamos este capítulo	163
Propuestas didácticas con énfasis en los conceptos	165
Propuestas didácticas con énfasis en procesos analíticos y experimentales	174
Propuestas didácticas para el trabajo integrado	182
Para seguir en contacto	189
Bibliografía	190

INTRODUCCIÓN

“Quien ha escrito una vez y siente la pasión de escribir, no se da cuenta de que todo lo que hace y vive es literalmente comunicable. No piensa ya más que en el escritor y en su público; quiere la comprensión, pero no para su propio uso. El que enseña es la mayor parte del tiempo incapaz de tarea alguna para su propio bien, piensa siempre en el bien de sus alumnos, y el conocimiento no le produce placer sino en tanto que pueda enseñarlo”

Nietzsche, 1986, párrafo 200:

El tratamiento de la energía constituye uno de los núcleos básicos de la alfabetización científica, ya que resulta imprescindible para la comprensión de procesos naturales y tecnológicos, como así también de los vínculos entre campos aparentemente desconectados como la Biología, la Física, la Ingeniería, la Tecnología, la Química, la Sociología, la Ecología, etc.

Este libro es el resultado de la labor de cinco profesores de distintas provincias de la Argentina y de distinto recorrido académico que pensaron como destinatarios a los docentes y estudiantes de Institutos de Formación Docente de nuestro país, que constituyen por cierto un universo complejo y diverso. Como esta obra la consideramos una extensión de nuestra actividad docente, la pensamos desde un inicio como un espacio de intercambio con los lectores.

Haremos un recorrido por algunos aspectos que caracterizan este libro y por su estructura, definida de manera cooperativa.

En primer lugar, si bien se consigna un autor en cada uno de los capítulos, la producción ha sido un trabajo colectivo y compartido. Durante casi un año, cada uno de nosotros recorrió junto a los otros coautores un camino de lectura, investigación, escritura y reescritura; enriquecidos por nuestras diversas experiencias académicas y docentes, lo cual más que un obstáculo representó una fortaleza al momento de acordar el recorte y enfoque que le daríamos al tema ENERGÍA.

En segundo lugar, la respuesta a la pregunta **¿Qué es la energía?** no es sencilla por tratarse de un concepto muy amplio y complejo. Por eso, quienes escribimos este libro, dedicamos muchas horas de encuentros virtuales y presenciales para poder acordar su abordaje.

Entendiendo que no hay una definición única, desarrollamos en el primer capítulo los aspectos o características asociadas a la energía que consideramos fundamentales, en particular al momento de enseñar el tema a los alumnos del

profesorado, como son: *la transformación, transferencia, conservación y degradación de la energía*.

Opinamos que también es importante describir los recursos que posibilitan transformaciones en la energía y permiten procesos aprovechables para la vida en el planeta, por lo cual en el segundo capítulo caracterizamos dichos recursos, particularmente los disponibles en nuestro país.

Los tres capítulos que siguen tienen el mismo nivel de prevalencia, pues se toman algunos de los recursos presentados en el segundo capítulo y se analiza su uso para la transformación de energía, fundamentalmente a eléctrica y térmica, tanto a nivel global, como en el contexto argentino. Así tenemos un tercer capítulo que aborda la energía asociada con el agua, el cuarto capítulo, que presenta al sol y al aire como recursos a los que se relacionan la energía solar y eólica, y por último el quinto capítulo que toma la biomasa y las posibles transformaciones energéticas que pueden darse a partir de ella. La elección de estos recursos, y no otros, se basó en las posibilidades que brindan para el desarrollo de emprendimientos energéticos de pequeña y mediana escala, dirigidos a una generación distribuida y más sustentable de transformaciones que minimicen la degradación de la energía para una mejor condición de vida de nuestras sociedades presentes y futuras.

Finalmente, el sexto capítulo presenta algunas reflexiones didácticas y sugerencias para la enseñanza de esta temática, con una mirada crítica y global, basada en nuestra experiencia y en numerosas investigaciones educativas al respecto.

Cabe mencionar que existe un hilo conductor que atraviesa todo el libro, que tiene la intención de permitir el intercambio con ustedes, nuestros lectores. En los distintos encuentros y reuniones de trabajo nos acompañó la idea de que no estábamos escribiendo un libro cerrado ni acabado sobre *energía*, sino un punto de partida para la construcción de su significado científico y sentido sociocultural. En todo momento tuvimos claro que quien leyera este libro tiene su opinión, conceptos alternativos, dudas, aportes, ideas y novedades sobre los temas aquí tratados y que sería muy valioso recoger todo ello para generar en conjunto nuevos conocimientos.

Finalmente, sería una enorme satisfacción para nosotros recibir devoluciones virtuales o personales, a partir de dudas, ideas propias, sugerencias, preguntas y todo aquello que genere la lectura de este libro. Esto nos permitirá seguir creciendo en nuestra tarea docente, posibilitando la formación de más y mejores formadores de ciudadanos, específicamente en cuestiones tan críticas de nuestras sociedades.



CAPÍTULO I

Cuestiones generales sobre la Energía y sus implicaciones

Juan Manuel Martínez

Acuerdos iniciales para comprender el texto

Vamos a comenzar tratando de configurar juntos el contexto de ideas en el que deberían ser entendidas las reflexiones posteriores de este y los demás capítulos del presente libro.

Si esta fuera una obra referida, por ejemplo, a un aspecto específico de la física del estado sólido escrito para investigadores que trabajan en esa área, tal vez bastarían un par de comentarios y suposiciones básicas (usualmente expresadas en lenguaje matemático) para, sin más, definir el problema y entrar de lleno a su desarrollo. Daríamos por hecho que aquellos lectores comprenden los códigos lingüísticos específicos y mediante la lectura podrían construir significados más o menos claros de los conceptos involucrados, otorgándoles sentido para profundizar en el problema que se pone de manifiesto en el texto.

Como en este primer capítulo nos proponemos, sin embargo, realizar una reflexión sobre el concepto de energía que se utiliza, en situaciones muy diferentes, en todas las ciencias y en la mayoría de los ámbitos cotidianos de la vida, es necesario que establezcamos los significados para los términos que utilizaremos, teniendo en cuenta, que quizás la mirada que proponemos resulte útil para incorporarla cuando se enseña y aprende sobre la energía.

Empezaremos escribiendo sobre algunos de los significados e ideas que se tienen acerca de la energía y que parece que persistirán por siempre. Esto no tiene nada de malo o errado, al contrario, nos habla por un lado de la diversidad de

modos y maneras que tenemos los humanos de comunicarnos sobre un tema que involucra conceptos tan amplios como el de energía. Por otro lado, nos advierte sobre lo problemático de enseñar y aprender estos conceptos, que se consideran hoy “polisémicos”, es decir, que cuando nombramos la palabra “energía” damos a entender un cúmulo muy amplio de significados, según el contexto y situación en que la utilizamos.

Comenzando así, nada nuevo estamos diciendo, basta buscar en un diccionario la palabra “energía” para darse cuenta de lo anterior. Pero la cuestión que hace posible una comunicación adecuada en cada contexto y según cada interés, es la de poder “elegir” de entre todo ese “campo semántico” aquellos significados que den sentido a lo que estamos hablando y que el otro logre entendernos, si está dispuesto.

Miles de ideas sobre la energía, y entre ellas... la nuestra

La naturaleza y sus innumerables fenómenos se han presentado ante la humanidad desde un inicio, de una manera intrincada y difícil de “aprehender” (hacerla propia). Desde ciertas posturas filosóficas podría argumentarse que nunca la conoceremos totalmente. Desde otras, se diría que esto es obvio ya que a la realidad, y por lo tanto a los fenómenos que en ella ocurren, los construimos nosotros, los representamos y explicamos en nuestra mente. Por eso carece de sentido preguntarse ¿cómo ocurre “verdaderamente” algo?

Sin embargo, más allá de toda especulación filosófica, por cierto no menos importante, la curiosidad ha caracterizado desde tiempos inmemoriales a la humanidad, y un fuerte deseo de economía intelectual siempre invadió las mentes de las mujeres y hombres de ciencia. Estos dos elementos ya son instrumentos muy útiles para comenzar los acuerdos.

La búsqueda analítica propia de las ciencias fue posible, fundamentalmente, gracias al uso de conceptos “inventados”. Históricamente, la ciencia amplió su abanico de posibilidades de comprensión desde clasificar hasta conceptualizar, sin desmerecer las acciones que se realizan en ambos procesos. Sin embargo, las ideas llamadas “de sentido común” no siguieron igual camino (ni obviamente necesitaron hacerlo); pero de alguna manera han tenido tanta o más larga vida que las de los conceptos científicos.

¿Sentido común....el más común de los sentidos?

Debemos aquí tener mucho cuidado y no confundirnos pensando que “sentido común” es un término que utilizamos para señalar a todos aquellos nobles ignorantes que nunca aprendieron los “difíciles” conceptos científicos; nada más lejos de nuestro sentir. Los científicos también utilizan todo el tiempo este tipo de ideas y muchas veces sin darse cuenta de que están desvirtuando, con tal vocabulario, sus propias explicaciones al respecto. Si bien es cierto que en el contexto cotidiano no hace falta explicar tanto algunos términos, es justo decir también que, una voluntad de comprensión más detallada de los mismos abre al diálogo e implica la posibilidad de explicación sistemática y conocimiento más profundo, aunque sea contextual.

Las explicaciones científicas dadas en base a conceptos inventados, principios, leyes y teorías propuestas por las comunidades científicas, a su vez, deben relacionarse con las observaciones en forma sistemática mediante la actividad experimental. En el marco de esta actividad característica de las ciencias naturales, la realidad le “responde” al investigador (durante el proceso de medición) con el *error experimental*, que, lejos de ser una “equivocación”, se convierte en el criterio de excelencia para controlar el ajuste sus apreciaciones, delimitándolas y otorgándoles márgenes de incertidumbre. Con esto estamos diciendo que, por una parte, los conceptos (o más bien las redes de significados asociadas a ellos) no son simples abstracciones de la experiencia, existe ya una suerte de conocimiento previo cuando nos acercamos a ella. Es decir, desde perspectivas más tradicionales se considera que las teorías científicas por lo general están construidas *sobre* las observaciones para ir más allá, para *pre-decirlas* y no por inducción natural de ellas. Por otra parte, durante este “diálogo” experimental, forman parte esencial tanto los *modelos*, que son *propuestas teóricas, representaciones cognitivas (elaboradas por la mente)*, con las cuales el investigador interpela a la realidad tratando de explicarla, como las “respuestas” de ella ante los intentos de modelizarla: los *errores experimentales*. De ahí que en estas ciencias no tenga sentido proclamar la excelencia de un dado modelo sin su respectivo margen de incertidumbre.

A esta altura podríamos haber dado una definición de energía y estar diciendo que usaremos la misma en el resto del texto, para que se recuerde de aquí en más y sólo se piense en ella cuando la veamos escrita. Pero sabemos que eso es

imposible, por lo que ya hemos comentado. Cada uno de nosotros tiene muchas ideas sobre la energía que no va a dejar de lado, sólo porque alguien le proponga una más.

Por otra parte, tener una idea (o incluso una definición) no quiere decir que seamos capaces de reconocer hechos de la vida diaria que se relacionan con ella. Es decir, según el contexto en que se trate, nombrar un concepto, dar su definición y asumirla sin demasiados problemas, no implica que tengamos comprensión del mismo y “automáticamente” sea obvio para nosotros hablar de él en los fenómenos que se nos presenten.

Por lo anterior, en lugar de definir energía, hemos optado por caracterizarla.

Características básicas del concepto científico de energía

Para ir sentando las bases científicas del concepto de energía que utilizaremos en este texto (recordando su carácter polisémico), desarrollaremos cuatro características o aspectos que debería tener asociados el concepto científico de energía: la **transformación**, la **transferencia o transmisión**, la **conservación** y la **degradación**.

Globalmente, lo anterior nos conduce a aceptar que cada vez que nombramos la palabra “energía” (o un sinónimo de ella), en el contexto de las ciencias, pensamos en las formas básicas en que la podemos imaginar; en las diversas maneras de transferirla entre un sistema que elijamos para analizar y su entorno; en el principio (en el cual creemos porque, dentro de la incertidumbre experimental, nadie ha demostrado lo contrario) que si sumamos bien todas las contribuciones asociadas a las diferentes formas de energía tanto del sistema como de sus alrededores y los modos de transmitirla, siempre obtendremos la misma cantidad y, finalmente, en un segundo principio que sostiene que aunque la cantidad que llamamos energía permanezca constante, no significa que podamos seguir realizando procesos para “rehabilitar” las formas de energía que contabilizábamos al inicio; es decir, tenemos la misma cantidad de energía pero sin la misma disponibilidad (o “calidad”) para transformarla a favor nuestro.

Vamos ahora a explicitar un poco más los aspectos o características del concepto de energía, a ver si aclara..... (Esperamos que no sea como aquel famoso dicho “no aclare que oscurece”.....)

Presentamos a continuación un esquema con el propósito de formarnos una idea integral anticipada de las diversas características y significados que incluye

el concepto de energía, así como de algunas de las formas que describiremos más adelante en este texto, presentamos el siguiente esquema. Debemos hacer la advertencia de que este cuadro representa *una versión particular* de concebir el concepto de energía, en el marco de las implicaciones y usos que destacamos en este libro. Por ello es necesario tomarse un tiempo para analizarlo y considerarlo como “una” representación posible y no “la única”. Seguramente en otros textos se encontrarán otros esquemas plausibles, que deberán ponderarse según los propósitos explicativos o didácticos de la obra en que se encuentren insertos.

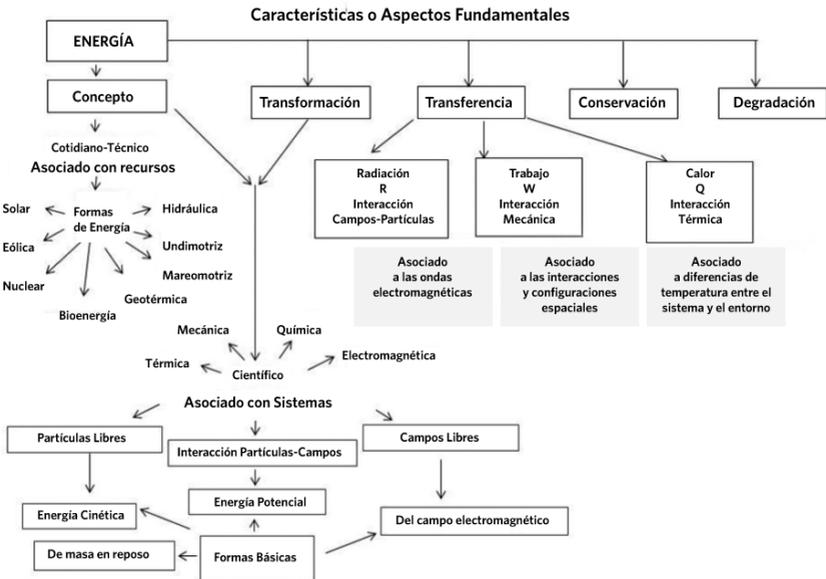


Fig. 1.1 El concepto de energía y sus aspectos o características fundamentales
Fuente: elaboración del autor

Antes de profundizar en las dos primeras características, conviene advertir que el prefijo “trans”, que utilizamos en las palabras *transformación* y *transferencia* o *transmisión*, de origen latino, indica *cambio o mudanza, más allá, del otro lado, en la parte opuesta, a través de*, es decir, no tiene un único significado. Por lo tanto, en cada sentido que lo utilicemos tendremos que especificar el mejor referente para el mismo.

Transformación

Escrito de este modo, el prefijo “trans” le confiere al término utilizado para este aspecto o característica de la energía un significado de “*cambio o mudanza*”. Tal vez nos haga pensar en “transformers”, esas películas maravillosas de ciencia ficción (y no tanto) en las que los robots adoptan diferentes formas, según con que interaccionan y en que contexto actúan; o en “transformistas”, esos artistas que maravillosamente “cambian su aspecto” y “el público ve” diferentes aspectos de una misma realidad humana. De manera similar, para visualizar las distintas formas de la energía que se proponen en las ciencias, *debemos concebir la energía, en todos los casos, asociada a sistemas y no a cuerpos aislados*. Podemos focalizar, por ejemplo, en los *movimientos* de un sistema, respecto a un determinado marco de referencia (*energía cinética*); en las *interacciones* internas entre partes del sistema y externas entre este y su entorno, junto a la manera en que el sistema *se distribuye en el espacio*, respecto a un origen común de referencia (*energía potencial*); en los *campos eléctricos y magnéticos* que pueden estar presentes en espacio que rodea al sistema y son significativamente intensos como para detectarlos (*energía asociada al campo electromagnético*) y, finalmente, si estamos interesados en sistemas que deban estudiarse haciendo uso de la teoría de la relatividad, teniendo en mente la conocida ecuación de Einstein $E = m_0c^2$, debemos tener en cuenta aquella forma de energía que se adjudica a los mismos (*energía de masa en reposo*)

Estas cuatro **formas básicas** de la energía que acabamos de nombrar: cinética, potencial, del campo electromagnético y de masa en reposo, aunque pueden ser debatibles por distintos investigadores, son aceptadas en varios contextos científicos y de enseñanza de las ciencias (Solbes y Tarín, 2004; Calzetta, 2010) y las reivindicamos aquí con el objetivo tornar más comprensibles los conceptos y conferir sentido didáctico al resto del libro. Este debate enriquecedor (y muy acalorado en ocasiones de simposios y congresos) continua entre las comunidades de enseñanza y científicas gracias a que, contemporáneamente, los conceptos y modelos están siendo continuamente construidos y cuestionados, dando lugar a nuevas zonas grises que posibilitan el diálogo y la discusión.

Llegado a este punto, necesitamos hacer una diferenciación: podría parecer que existen muchas **otras formas** de energía como la “eólica”, “hidráulica”, “solar”, “geotérmica”, “nuclear”, etc., tan nombradas hoy en el ámbito cotidiano y tecnológico. Sin embargo, a estas últimas denominaciones, nosotros las reservaremos para dichos ámbitos más que para el científico y **las asociaremos con “recursos”** (que definiremos en el próximo capítulo), a pesar de que la mayoría de los textos

didácticos los denomine *fuentes* de energía. Haremos esta opción para tratar de evitar el refuerzo de la imagen de la energía como algo material (tipo sustancia). Por ejemplo, asociaremos la forma de energía llamada solar con el sol (su recurso), la hidráulica, mareomotriz y undimotriz con el agua, la bioenergía con la biomasa y así en adelante.

Resumiendo: cuando calculamos la energía en un sistema, dado su aspecto de transformación, podemos encontrarla en cualquiera de las formas que hemos descrito (o todas simultáneamente, o dos de ellas, etc.) y debemos tener muy en cuenta la manera de hacer los cálculos, con sus respectivas ecuaciones, a la hora de sumar todas las contribuciones. Si hacemos esto cuidadosamente, el total nos debería dar siempre la misma cantidad.

Transferencia o Transmisión

En este caso, este nuevo aspecto, es escrito con una palabra que, aunque lleva el mismo prefijo anterior, nos sugiere otro significado: el de *“más allá, del otro lado, en la parte opuesta, a través de”*. De hecho, todas estas acepciones son utilizadas en distintos contextos de la ciencia y la tecnología para referirse a ese aspecto.

Le dedicaremos bastante atención a esta característica de la energía, ya que suele ser en este contexto donde ocurren las mayores confusiones de términos y, por consiguiente, del significado cotidiano y científico de los mismos.

Aquí también debemos tener bastante cuidado con las imágenes que se nos forman en la mente (la más típica de ellas es la “sustancialista” que ya hemos mencionado – “algo” tipo una sustancia o cosa parecida se transmite de un lado al otro, o del sistema al entorno, o viceversa-). Esta característica, advierte más sobre el hecho (nuevamente subyacente) que, sea lo que fuere la energía, es posible realizar mediciones y calcularla en un dado instante para un sistema o parte de él, luego realizar algunos procesos entre el sistema y el entorno que elijamos, finalmente, al finalizar estos procesos, volver a medir y calcular y darnos cuenta que, lo que no esté en el sistema, estará en el entorno. En este sentido hablamos de que eso que llamamos energía se *transmitió*.

Podemos ejemplificar la transmisión con un evento simple: tomemos dos monedas de igual valor (por ejemplo de 50 centavos), a una la dejamos “al ambiente”, mientras que a la otra (con una pinza con mango de goma para no quemarnos), la calentamos en una hornalla o con un mechero. Si mediante algún dispositivo (termómetro) medimos la temperatura de ambas, esta será claramente

diferente. Luego de un cierto lapso de tiempo, ponemos ambas monedas en contacto y “aislamos térmicamente” el conjunto mediante algún paño o manta de lana por ejemplo. Si dejamos transcurrir nuevamente otro lapso de tiempo suficientemente largo y medimos la temperatura, notaremos que en ambas monedas obtenemos el mismo valor, dentro de los errores experimentales. Hasta aquí nada nuevo de lo que sabemos y estaremos tentados a decir: que la moneda caliente le paso “temperatura” a la fría (o le paso “calor”), de tal modo que ambas tienen el mismo “nivel”. Más allá de este lenguaje cotidiano que refuerza la idea de que temperatura, calor o energía representan la misma “cosa” (y que mas adelante trataremos de diferenciar), lo que podemos interpretar es que la medición de un indicador del estado térmico de una de las monedas (la temperatura) que consideramos como sistema, nos dice que cierta energía (sea lo que ella fuere) se ha transferido entre ella y su entorno directo (la otra moneda), cosa que el entorno acusa, variando su temperatura (que también podemos medir). Recordemos que ambas monedas son una el entorno de la otra ya que hemos aislado el conjunto del resto del ambiente. No podríamos afirmar que haya habido transformación de la energía ya que el indicador del estado que estamos utilizando (la temperatura) es el mismo y las cuentas de balance nos dan “redonditas” Otro ejemplo diferente de transmisión de energía lo tenemos mediante las ondas de radio, si pensamos en todas las energías puestas en juego en el sistema transmisor (generador de las ondas), en la interacción de las ondas con el medio en que se transmiten y en el sistema receptor, que las capta y decodifica para que escuchemos “*lo mismo*” que se dijo anteriormente.

Entonces, al dimensionar la energía presente en el sistema y su entorno (darle valores y unidades adecuadas) y corroborar que la cantidad no cambió, aunque la busquemos y encontremos en “lugares”¹ distintos que antes, deducimos que la energía se debe haber transferido entre ellos.

Para hablar con más propiedad de la transferencia de energía en el contexto científico, necesitamos, en todos los casos, especificar cual es el sistema que estamos imaginando, el entorno que está en *interacción directa* con él y la *pared o frontera* que separa a ambos.

Si bien hay muchas maneras de hacer esto desde los diversos ámbitos de las ciencias, la termodinámica, que es una de las ramas de la física en la que los investigadores se ocupan fuertemente del estudio de la energía de los sistemas

¹ Lugar aquí no necesariamente significa “un lugar en el espacio” sino un “lugar mental” en el cual concebimos el sistema y lo que está en interacción con él.

en relación con los fenómenos térmicos, y que por su generalidad tiene amplia aplicación en otros contextos muy diversos, ha especificado con detalle las nociones de *sistema*, *entorno* y *paredes* a las que nos hemos referido. Por ello elegiremos esta rama para especificar en detalle dichas nociones. (Serway y Jewett, 2009; Costa y Domenech, 1993)

Esto de ninguna manera quiere decir que el concepto de energía se “gestó” en ese contexto. La preocupación, búsqueda y conciencia de constancias y principios como los que expondremos alcanza por lo menos, sino más, a los griegos. Enfocaremos en la termodinámica clásica de la primera mitad del siglo XIX porque en este contexto histórico, desarrollado de la mano de la revolución industrial, se formalizaron y diferenciaron muchas de las ideas que en su conjunto contribuyeron a colocar al concepto de energía en un lugar especialmente apto para tratar cualquier tipo de sistemas, no sólo físicos. De ahí también el valor pedagógico e integrador para la formación de profesores².

Sistema y pared: Suele definírseles como la *porción del universo delimitado por una superficie matemática cerrada*. Comúnmente, esta superficie se denomina *pared* o *frontera* del sistema. La superficie matemática puede coincidir con algún objeto real o no, por ejemplo, en un tanque lleno con un gas la superficie podría coincidir con la “pared interior” del tanque si el sistema bajo estudio es la totalidad del gas contenido en el mismo; pero si nuestro estudio se limita a una porción de ese gas, la superficie límite podría ser ficticia o estar constituida por un conjunto de moléculas de dicho gas. En muchos problemas ocurren en general intercambios entre un sistema dado y otros, provocados por diferentes tipos de interacciones, por ello es muy útil identificar lo que está por fuera del sistema bajo estudio.

Entorno [Medio externo, Ambiente, Medio, Vecindad]: Se puede concebir como la *parte del universo más cercana al sistema* y con la cual este puede *interactuar directa y significativamente*.

Universo: Se constituye mediante *sistema* y *entorno*. Si tuviéramos que pensar en una “analogía” para hacernos una imagen, el universo termodinámico sería más parecido al “universo psicológico del niño pequeño” (él y su entorno más cercano) y no tanto al “universo cósmico como por ejemplo podría imaginárselo un astrofísico”.

2 El otro enfoque complementario para abordar el tema fue mediante la mecánica estadística, teoría desarrollada con más énfasis en la segunda mitad del siglo XIX. Esta estructura conceptual, al contrario de la anterior, elabora desde el comienzo modelos mecánicos sobre la constitución microscópica de los sistemas y con ellos trata de obtener las leyes de la termodinámica clásica, postuladas para los sistemas macroscópicos

Interacciones del sistema con su entorno

Existen numerosas posibilidades para que el sistema “entre en interacción” con su entorno. Estas posibles “relaciones”, *siempre están mediadas por el tipo de paredes presentes*. Caben varias:

a. Que el sistema:

a.1 Esté **aislado**: en este caso no hay interacción alguna con su entorno.

a.2 Esté **aislado adiabáticamente**: en este caso la pared permite únicamente experimentar desplazamientos o deformaciones (macroscópicos) Toda otra interacción “no es posible”. Este tipo particular de superficie, por su generalidad e importancia, se denomina **pared adiabática**.

b. Que el sistema esté **cerrado**: en este caso, *no intercambia materia* con su entorno; sin embargo, puede interactuar de otras maneras intercambiando energía, por ejemplo mediante “calentamientos” o “enfriamientos” y “desplazamientos” o “deformaciones” (macroscópicas) La superficie límite se denomina en este caso **pared diatérmica** (la cual puede ser rígida o no)

c. Que el sistema esté **abierto**: en este caso, el sistema **también** puede intercambiar *materia* con su entorno. Se dirá, según sea el caso, que la pared es una **pared permeable o semi-permeable**.

Las definiciones anteriores y el tipo particular de pared diatérmica definida, permiten en Termodinámica, delimitar lógicamente un concepto importante, que siempre causa problemas para imaginar: el de **contacto térmico o interacción térmica**.

Se afirmará que dos sistemas (o sistema y entorno) están en contacto térmico (o interactúan térmicamente) cuando están separados por una pared diatérmica

Como para profundizar y retomar lo anterior, aclararemos que cuando hablamos de “sistema”, “entorno”, “universo” o “pared” en el contexto de la energía como concepto científico, si bien tenemos en mente *sistemas macroscópicos*, no nos estamos refiriendo necesariamente a cosas u objetos reales (por ejemplo una pared de ladrillos o acero que separa dos habitaciones), sino a, una vez más, a modelos de aquellos objetos de la realidad que estamos eligiendo estudiar.

Analicemos otro ejemplo: si estamos interesados en estudiar la transferencia de energía entre nuestra habitación y el exterior a través de una de las ventanas, podemos elegir como sistema el aire que ocupa el todo el volumen de nuestra habitación. Mejor todavía, para ser más precisos en los cálculos desde la termodinámica, tendríamos que especificar aquella porción de aire que esta más cercano

a la ventana e interactúa directamente con ella, que por cierto se convierte en nuestro primer entorno, aunque estemos muy interesados en estudiar la transferencia de energía al exterior *a través* de ella.

Entonces, ¿cuál es la pared?, porque estaríamos tentados a decir que la pared es la ventana y el entorno el aire del exterior que rodea a la misma. Sin embargo, afinando la puntería, podríamos reconocer que la primera transferencia se da entre el aire interior y el material del que está hecha la ventana, generalmente vidrio. Si así lo pensáramos ¿la “pared” sería entonces que “cosa”? ¿Se entiende? Siempre estamos tentados a pensar en cosas materiales, a pesar de que estamos modelizando una situación de transferencia. Bueno, para peor, si le preguntamos a un físico nos diría que “la pared” en este caso, es la superficie matemática cerrada que separa el sistema, que modelizamos como las moléculas de aire del interior cercanas a la ventana, y el entorno, que modelizamos como las primeras moléculas de vidrio que componen la ventana del otro lado. Bueno, a esta altura hasta un ingeniero nos diría que estamos locos y que para que queremos tanta precisión, que eso no es útil para fabricar viviendas térmicas. ¡Y tendría toda la razón del mundo! pero lo que sucede es que nuestro interés no está en dicha fabricación, sino en entender la transferencia de energía entre sistema y entorno.

¿Se alcanza a percibir lo que estamos queriendo decir? En el contexto científico-técnico, aun tenemos que especificar muy bien nuestros objetivos para que no caigamos en contradicciones, ya que en ambos casos son lícitos los objetivos que se persiguen: uno estudiar un aspecto físico asociado a la energía y el otro construir una vivienda que haga uso de ese aspecto para mejorar nuestra calidad de vida.

En resumen: cuando hablamos de transferencia de energía, siempre tenemos que decidir cual es el objetivo que tenemos y en función de él, definir correctamente sistema-entorno y paredes que entran en juego en tal transferencia.

¿Un ejercicio mental para tratar de entender? Imaginemos que queremos explicarnos la transferencia de energía entre la transferencia de energía entre un mate de acero inoxidable “caliente” y la mano y que lo está sosteniendo ¿Qué elegiríamos como sistema, entorno o paredes?

Y ahora un poco más.... Si quisiéramos estudiar la transferencia de energía que se da en una celda solar, o un biodigestor, o una micro turbina, o un molino de un parque eólico.... ¿por donde empezaríamos? Bueno, para esta última tarea sugerimos continuar con la lectura de este libro, donde justamente nos exhibaremos en estos dispositivos.

Aun no abandonaremos este aspecto de transferencia o transmisión de la energía. Necesitamos primero reconocer que aunque seamos excelentes “rastreadores” de sistemas, paredes y entornos, podemos no tener idea de *cómo* la energía se ha transferido del sistema a entorno o viceversa. Es decir, no podemos saber, con solo definir lo anterior, de que manera la energía se ha transferido y, al menos por nuestra experiencia, sabemos que no hay un único modo de hacerlo. Por ejemplo, no es lo mismo “calentar algo”³ con una llama que calentar algo fro-tándolo con la superficie de otro material.

Puede que el resultado final, por ejemplo la temperatura del objeto que observamos, sea la misma, pero el modo en que hemos transformado la energía para transferirla, claramente no ha sido el mismo.

¿Y eso para que importa? Bueno, esto será de suma importancia para lo que se conocen hoy como modos más “ecológicos” o menos “degradativos” de transferir energía. Nos ocuparemos de ello durante el resto de este texto.

Por el momento indaguemos algo más acerca de las *maneras de transferir energía* entre el sistema y su entorno.

¿Preparado? Porque en este momento tendremos que estar muy atentos, ya que seguramente este contenido va a contradecir las palabras, ideas y modelos con los que nos manejamos normalmente la mayoría de las personas cuando hablamos en contextos cotidianos, sean científicos o no.

Si bien, como dijimos, podemos definir sistema-entorno y paredes, eso no quiere decir que sepamos de qué manera la energía se ha transferido entre ellos.

Nuevamente, en un proceso histórico que duró más de 50 años, los científicos, tecnólogos y hasta los industriales, comerciantes y militares, fueron aportando evidencias para establecer un acuerdo que podemos expresar diciendo que la energía se transfiere básicamente de tres maneras diferentes: **trabajo, calor y radiación**.

Tan importante fue este acuerdo que lo escribieron como parte de una ecuación de balance (de la cual nos ocuparemos al considerar el aspecto de conservación), que constituye la expresión matemática del llamado *Primer Principio de la Termodinámica*, con el que se afirma (y se cree sin demostración) que la energía total (del universo, considerado como un gran sistema aislado) se mantiene constante, es decir, se conserva.

3 Las comillas son para resaltar la idea que calentar algo está asociado al proceso de variarle la temperatura a un sistema.

A modo de advertencia, a pesar de que muchos autores destacan su importancia para la interpretación de los procesos naturales, es preciso decir que la mayoría de los textos de física no hacen referencia explícita a la radiación al escribir la ecuación que representa el primer principio de la termodinámica.

Dado que estos tres modos de transferir energía entre sistema y entorno se relacionan con los procesos para llevar a cabo tales transferencias, la ecuación de “balance” del primer principio no estuvo completa hasta que no se postuló una magnitud que diera cuenta de la energía que permanecía o dejaba el sistema, en cualquiera de sus formas. Esta magnitud se la denominó *energía interna del sistema*, en el sentido de indicar la energía que le es asignada (en cualquiera de sus formas) en un instante y configuración dados, es decir, en un estado termodinámico determinado. *No fue una nueva forma de energía la que se postuló*, fue el nombre que se le dio a una propiedad del estado (de cualquier sistema), para especificar la energía que le corresponde y diferenciarla de aquella que se transfiere al o del entorno por alguno de los tres modos indicados. Al concebir la *energía interna* como una *característica del estado del sistema*, técnicamente se dice que la energía interna es una *función de estado*; es decir, que su valor no depende de las interacciones y procesos que el sistema experimente o desarrolle con el entorno, sino solamente de sus estados inicial y/o final.

En épocas más actuales (1850 en adelante), cuando se establecieron los primeros consensos en la comunidad científica sobre la existencia de átomos y moléculas como constituyentes microscópicos de la materia, se pudo proponer y decir que la energía interna, en su modelización más simple, se puede concebir como (y se calcula sumando) toda la energía que en un dado sistema se le adjudica a sus componentes microscópicos como átomos y moléculas. Esto siempre y cuando se realice el cálculo desde un marco de referencia que esta en reposo respecto del centro de masas⁴ Así es que la energía interna se entiende como una magnitud *extensiva* del sistema; es decir, es sensible a la cantidad de materia que este contiene (en contraste, por ejemplo, con la temperatura, que se denomina *intensiva*)

4 Notar lo importante que es, a los fines de calcular la energía correctamente, decir (especificar) es marco de referencia desde el cual se está “mirando” el sistema. En este caso, el “centro de masa” se refiere a un punto específico que puede calcularse mediante un “promedio especial” teniendo en cuenta la distribución total de masas del sistema bajo estudio.

Las maneras básicas de transferir energía

1. **Trabajo:** Hay innumerables definiciones (casi todas operacionales) de este concepto tan popular en lo cotidiano y específico en el ámbito científico. Bastaría leer algunos de los textos citados en este capítulo o bien colocar la palabra en un buscador de la Web para darnos cuenta de la amplitud de su significado.

Para el concepto de *Trabajo* en el contexto científico-técnico, nos podemos encontrar con significados que van desde la más popular y escolarizada definición mecanicista de “fuerza por distancia”; que, al olvidar tanto el carácter escalar como el contexto de uso, se confundirá en la mente de los alumnos con la definición operativa de momento de una fuerza (también expresado como “fuerza por distancia”), hasta aquella definición más académica (y poco entendida por los estudiantes de nivel superior) que lo vincula con una “diferencial inexacta”, justificando la dependencia del “camino”, calculando su valor mediante una “integral de línea”. Pese a lo anterior, este concepto, al menos no ha generado la confusión lingüística generalizada (como el de calor) de que el *trabajo* “pasa” (de un sistema a otro o del sistema al entorno) y “se conserva” independientemente de las interacciones que existan entre ellos. Hay muchas razones históricas, académicas y didácticas para tal abanico de posibilidades (Kemp, 1984).

Sin embargo, pocos textos enfatizan su interpretación como modo de transferencia de energía, siendo que esta noción es de suma utilidad para la comprensión moderna de las relaciones socioeconómicas y culturales, así como para la discusión necesaria sobre la sostenibilidad ambiental.

En este apartado consideraremos y enfatizaremos la interpretación de *Trabajo* que nos acerca al mundo de los procesos de transferencia y transformación de la energía, más que la que se ocupa fundamentalmente de calcularlo (para lo cual, si estás interesado, te remitimos nuevamente a los textos antes mencionados).

Desde un punto de vista cualitativo y en el contexto científico, entonces, nos referiremos a *Trabajo* como una *manera de intercambio (transferencia) de energía entre un sistema y su entorno*, que involucra una transformación de la materia a través de interacciones. Especificando aún más, podemos decir que esta noción de trabajo se refiere a un modo de intercambiar energía que implica deformaciones o cambios de configuraciones en el sistema cuando interactúa con su entorno, que pueden caracterizarse mediante propiedades

extensivas como la posición o el volumen que ocupa el sistema o partes de él. Ejemplos típicos de este tipo de interacciones que involucran *trabajo* son el empujar el émbolo de una jeringa o el movimiento de un pistón en un motor debido a la presión de los gases, el hacer un hueco en la tierra, inflar un globo, deformar plastilina, el dejar caer objetos (desde un barranco o pendientes), etc. Esta definición es bastante cercana a la que postulara Maxwell en 1877, y de hecho incluye la posibilidad de calcularlo como “fuerza por distancia” en el caso simple de un objeto (sistema) que se desplaza debido a una fuerza constante en la misma dirección que esta.

Por otra parte, debemos notar que cuando este modo de transferir energía aparece en escena, parte de la energía se transforma a lo largo de los procesos de interacción involucrados. El ejemplo típico lo tenemos con un niño en una hamaca y la conversión cíclica de energía cinética en potencial.

Si le agregamos este matiz de significado, podemos hablar también de *Trabajo* como un *mecanismo de convertir (transformar) energía*.

La condición que exigiremos al nominar trabajo de este modo es que, luego de realizar todas las interacciones que sean necesarias, sumemos las diferentes formas de la energía asignada al sistema y su entorno, y esta suma vuelva a darnos el mismo valor (seguimos creyendo en ese *principio*).

Esta condición, por otro lado, dadas las clases de interacciones que conocemos en la naturaleza, nos hace pensar de inmediato que *Trabajo* no ha de ser la única manera de transferir energía.

Finalmente, el que hagamos énfasis en este ángulo del significado del concepto de *Trabajo*, no anula la clásica definición operativa que permite calcularlo, dándonos como resultado el *valor de la energía neta intercambiada entre el sistema y su entorno por este modo*.

2. **Calor:** Históricamente, la problemática en torno al concepto de calor, fue la que clarificó y relacionó los diversos significados para el concepto de *energía*. Para Aristóteles el fuego era uno de los cuatro elementos y esto explicaba en gran parte, en forma *cualitativa*, el comportamiento observado por la mayoría de los cuerpos.

Los antiguos griegos (con ideas atomistas) explicaban las diferencias de temperatura, que denominaban intensidad o grado de calor de los cuerpos, mediante un *esquema conceptual* en el cual imaginaban el calor como una *sustancia especial (un fluido que más tarde fue llamado **calórico**)*, no perceptible directamente por los instrumentos, de estructura atómica y que se difundía rápidamente. Esta imagen posee mucho sentido común, debido a

ello, probablemente este modelo perduró durante mucho tiempo y se fue perfeccionando cada vez más. Se imaginaba al calor como un fluido "tenue", capaz de entrar y salir por los "poros" más pequeños de la materia, cuya magnitud dependía de la temperatura, era considerado imponderable (sin peso). Aunque aspectos críticos como su "imponderabilidad" eran difíciles de aceptar, el conjunto de ideas era válido y de hecho explicaba la mayoría de las situaciones comunes.

Durante el siglo XVII personajes como Bacon, Galileo y Boyle aceptaron la teoría del fluido, no obstante desconfiar de ella, e idearon comprobaciones desde un punto de vista experimental y más general.

A esta altura de la historia, los argumentos de los partidarios de la imagen del calor como un fluido aún eran vagos a la hora de explicar hechos como el de "engendrar" calor por movimiento (fricción entre dos cuerpos). Aunque no definido aún, en esa época, el "calor" también se lo explicaba como vibraciones o movimiento a pequeña escala de las partículas atómicas de los cuerpos calientes.

Estas vaguedades en el lenguaje hicieron que durante todo el siglo XVII y parte del XVIII, ni la teoría del fluido calórico, ni la del calor como movimiento, llegaron a establecerse firmemente, fundamentalmente por dos causas:

- No se comprendían aún ciertas *ideas claves* como la diferencia entre temperatura y calor, calor específico, calor latente.
- No se habían desarrollado métodos suficientemente precisos de *termometría* y *calorimetría*.
- Podemos citar algunas frases confusas que dan cuenta de la indiferenciación conceptual hasta ese momento:
 - 1620 - Francis Bacon: "el calor es un movimiento dilatante".
 - 1658 - Pietro Gassendi: "el calor y el frío son materias diferentes". Los átomos de "frío" son agudos (tetraédricos) y al penetrar en el líquido lo hacen más sólido.
 - 1780 - El médico escocés James Black, fue quizás el primero que se refirió al calor como una entidad física definida y se adhirió definitivamente al fluido.

Lo que definitivamente inclinó la balanza hacia la teoría del fluido "calor", llamado "calórico" por Lavoisier en 1787, fueron los resultados experimentales obtenidos con "mezclas".

En ellos, al poner en contacto térmico cuerpos a distintas temperaturas, si el conjunto estaba lo suficientemente aislado adiabáticamente del entorno, "el

calor ni se creaba ni se destruía”, es decir, independientemente de la forma en que se verificaba la “redistribución del calor” entre los distintos cuerpos que se mezclaban, *la cantidad de calor permanecía constante*.

Bajo esas circunstancias, pensando en que “el calor se conserva”

($\Rightarrow [1] Q_{\text{total}} \text{ } ^\circ \text{ Cte.}$) era casi inmediato plantear para el sistema ($[2] Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{absorbido}}$). *De hecho esta última ecuación, aún se utiliza en cálculos de calorimetría*, aunque, claro está, nadie menciona explícitamente la primera dado que

las circunstancias históricas en que esta condición fue establecida, condujeron a una suerte de “ley de conservación del calor”, cuya insistencia por mantener sería la que definitivamente llevaría *al fracaso a la teoría del fluido “calórico”* a partir de los experimentos de Benjamin Thompson (conde de Rumford) en 1798.

Actualmente, aunque de hecho puedan imaginarse expresiones como [2], lo más adecuado sería imaginarlas en el contexto de una ecuación del tipo $DQ = 0$ entre sistema y entorno, adjudicándole a

“ $Q_{\text{cedido} / \text{absorbido}}$ ” el significado de la cantidad de energía intercambiada entre partes del sistema en interacción térmica.

De todas formas muchos de los términos de esa época aún se utilizan en la Física, por ejemplo:

- **Capacidad o poder calorífico:** que evoca la idea de “calor contenido” ya que el vocablo “capacidad” hace referencia a “contenido”.
- **Calor específico:** es como si se nombrara a una “cosa específica” para cada cuerpo.
- **Método de las mezclas:** se plantea e interpreta como $Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{absorbido}}$, lo que induce a pensar que el calor cedido “estaba en un cuerpo” y que el absorbido “entra en el otro”. El método de las mezclas también induce a pensar que se mezclan “calores” de la misma manera que se mezclan los líquidos.
- **Calor latente:** que sería el estado en el que se encuentra el “calórico” hasta que por algún cambio brusco se libera y se convierte en “sensible” que puede ser medido con los termómetros. Por ejemplo, el incremento de la temperatura observada al comprimir un gas (por ejemplo aire encerrado en una jeringa) o al golpear un sólido, podía considerarse como una prueba de que el calórico era “exprimido” entre los espacios de las partículas ordinarias de la materia. Al obligar a las partículas a estar más juntas se liberaba calor latente y se convertía en sensible, pudiéndose así medir con un termómetro.

Para dar una idea de lo acabado del modelo que se tenía en la teoría del calórico puede pensarse que aún en 1800, Sadi Carnot, teniendo en mente el modelo de “calórico”, elaboró su famoso teorema sobre el rendimiento de las máquinas térmicas (dispositivos que pueden transformar intercambios de energía por trabajo en intercambios de energía por calor).

Todo ese lenguaje que podríamos definir como *lenguaje “observacional o fenomenológico”* es un lenguaje que ha nacido en teorías anteriores y que se conserva por tradición; sin embargo podríamos decir que se trata de un lenguaje de alguna manera “contaminado”.

Experimentos realizados en 1807 principalmente por Davy y el conde Rumford, configuraron golpes conceptuales decisivos contra la idea del fluido “calórico”, sin embargo no llegaron a convencer a los partidarios de ese modelo cuyo punto de vista era más “práctico”.

Sólo cuando pudo establecerse la equivalencia entre calor y trabajo (Joule 1843 y Mayer 1842) en el siglo XIX, comenzó el camino definitivo hacia una nueva concepción del calor: se lo veía desde entonces como una como una “forma de movimiento” (aún no se sabía bien de qué).

En resumidas cuentas: **¿qué significado le daremos al término calor?**

Por un lado vamos a insistir en que *calor* debería ser concebido en el contexto científico como *una manera de transferir energía entre el sistema y su entorno*. Para que se de este tipo de transferencia debe existir una diferencia de temperaturas entre ambos y, como condición primordial, debe haber contacto térmico entre ellos (es decir, sistema y entorno deben estar separados por una pared diatérmica)

En este sentido debemos ser cuidadosos con los escritos que aparecen en muchos textos cuando designan al calor como “*una forma de energía*”, sugiriendo que el calor fuera una “forma diferente” de energía de las que conocemos y por lo tanto característica de los estados de los sistemas. Si queremos seguir utilizando ese lenguaje, deberíamos diferenciar contextualmente su significado y entender que en el marco termodinámico “forma de energía” debería reinterpretarse por “manera particular de transmitir energía”, es decir, por interacción térmica. También frases como el calor es “energía en tránsito”, deberían reinterpretarse en el sentido de pensar en “cantidades de energía interna que se intercambian sólo mientras dura la interacción térmica”; es decir, no tiene sentido hablar de calor cuando ni siquiera existe interacción térmica entre sistema y entorno.

Algo muy parecido hemos dicho anteriormente para **Trabajo**. Por supues-

to que si los aspectos conceptuales estuvieran muy claros entre todos los interlocutores, no habría problemas en usar expresiones como el “calor es una forma de energía”, ya que la sintaxis, una vez acordado el significado, no llevaría a confusión. Sin embargo, si lo anterior no se cumple se pueden generar muchas confusiones, ya que el término “forma”, en particular, puede ser interpretado tanto como “*forma de interactuar*” cuanto “una forma distinta de energía” (lo cual es científicamente incorrecto) y podría llevarnos a pensar que el calor puede conservarse como lo hace la energía (como en la antigua teoría del calórico).

Admitimos entonces, por un lado, la posibilidad de considerar **calor** como *el nombre convencional de una manera específica de intercambiar energía entre sistema y entorno*.

Debemos estar advertidos de que esta acepción sólo es utilizada en algunos libros de física superior con argumentos fuertes; otros textos básicos, que en un principio también adhieren a que no se debe considerar al calor como un fluido, “vician” estas ideas con un vocabulario posterior bastante confuso. Podemos darnos cuenta de esto realizando una actividad similar a la que propusimos anteriormente respecto a los dos enfoques de la termodinámica. La clave es reinterpretar el lenguaje observacional existente tanto en los textos como en la vida cotidiana a partir del concepto de *energía Interna*, conectado al *Primer Principio de la Termodinámica del que ya hemos hablado* y nos ocuparemos nuevamente más adelante. Esto puede hacerse pensando, por ejemplo, que en base a procesos termodinámicos diferentes, se puede *modificar la energía interna* de los sistemas mediante *calor y trabajo*. Como ya sospechábamos al hablar de este último.

La idea de calor como forma particular de intercambiar energía entre sistema y entorno debería acompañarse en los textos de términos como: procesos térmicos, interacciones térmicas, parámetros de interacción térmica, procesos de calentamiento, conducción por calor, proceso espontáneo, diferencias de temperatura entre sistemas, etc., en vez de: “pasaje de calor”, “calor cedido”, “fuentes de calor”, “focos caloríficos”, etc. Por ejemplo, la noción de “foco calorífico” perdería su categoría de “productor de calor” para ser suplida por un cuerpo que posee mucha energía interna.

Esto contribuiría, por una parte, a dar una perspectiva más adaptada científicamente y por la otra a confrontar estas ideas con las que normalmente traemos de la etapa escolar, más cercana a lo cotidiano o al contexto observacional.

Desde otro punto de vista, y admitiendo que el término *calor* pertenece a una categoría de palabras que no admiten un único significado, podríamos pensar también en:

Calor como la energía neta intercambiada (no en cualquier sentido, es decir, espontáneamente, siempre desde el sistema de mayor temperatura al de menor temperatura) debido a un proceso de interacción térmica entre sistema y el entorno.

De manera similar, podríamos reescribir lo dicho en el párrafo anterior de Trabajo, diciendo:

Trabajo designa la energía neta intercambiada debido a un proceso de interacción mecánica entre el sistema y el entorno. Generalmente, como resultado de esta interacción la frontera se deforma.

Si integramos ambas visiones (la que relaciona calor y trabajo a ciertas maneras de interacción y esta última, de tipo operacional, basada en cálculos de la energía) podemos pensar tanto en la idea de “cuánto fue” la variación de la energía interna del sistema, como en el “tipo de interacciones” que han ocurrido para que se produzca esa variación.

Podríamos esquematizar lo anterior como:

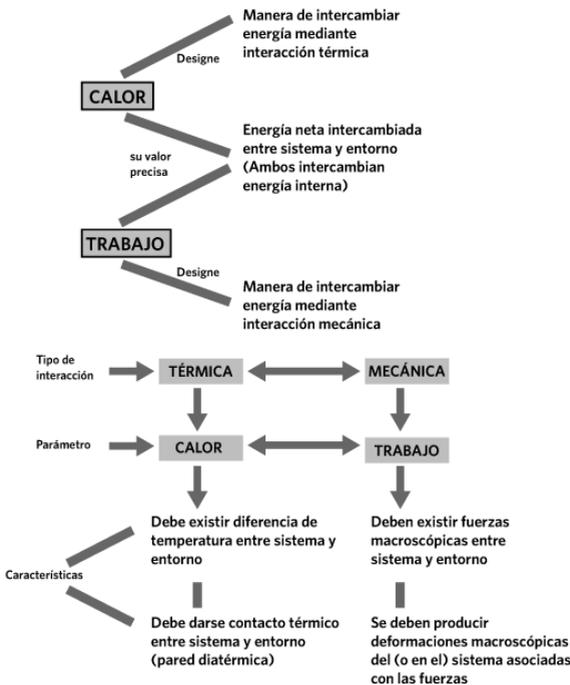


Fig. 1.2. Trabajo y Calor como maneras de intercambiar energía. Fuente: elaboración del autor

3. Radiación: Frecuentemente la *radiación* es presentada en los textos de física como un mecanismo de transmisión de energía en el marco de los procesos térmicos, junto a sus pares: la convección y la conducción.

No obstante, esta manera de transferir energía entre el sistema y su entorno es fundamentalmente diferente las otros dos porque no se necesita un medio material para que la transferencia de energía por radiación tenga lugar y tampoco es necesario que exista diferencia de temperaturas entre ellos. Por estas

razones, nosotros la presentamos aquí como otro modo general de transferir energía, al mismo nivel de Calor y Trabajo⁵.

Para ejemplificar este modo y darse cuenta de que no es tan ajeno a la vida diaria, basta pensar (o mejor experimentar!, estimado lector), en la diferente sensación que se tiene en los párpados frente a un hogar encendido (o al sol en un día con cielo despejado) con los ojos cerrados, con y sin anteojos de sol, o simplemente tapándose los ojos con la mano a cierta distancia. Queda claro que no es el “aire caliente” el que provoca dicha diferencia, ya que ni los anteojos ni la mano impiden su circulación.

¿Cómo entender entonces este modo de transferir energía? (sobre el cual de hecho volveremos en uno de los capítulos de este libro)

La raíz profunda para explicar esta manera de transferencia la encontramos en la teoría del electromagnetismo y en la posibilidad de transmisión de *ondas* a través del campo electromagnético.

La postulación teórica de este fenómeno la realizó el físico escocés James Clerk Maxwell, a los 30 años, en 1861 y fue corroborada experimentalmente por el físico alemán Heinrich Hertz recién en 1887, luego de la muerte de Maxwell, que ocurriera antes de cumplir los 50 años. Cosas de la historia de la ciencia que, dicho sea de paso, nos muestran la potencialidad predictiva de los modelos, de la cual ya hemos hablado.

A nuestro parecer, es en el marco del concepto de “campo” en la física y gracias al desarrollo del electromagnetismo, donde la energía finalmente alcanza su lugar jerárquico y natural como concepto fundante y no de características operacionales como en el ámbito de la mecánica newtoniana e incluso en la termodinámica.

⁵ No somos los únicos que hacemos este planteo. Presentaciones similares pueden verse en textos como Alonso, M. y Finn, E. (1995) Física. USA. Addison-Wesley Iberoamericana, Serway, R. y Jewet, J. (2010) Física (Volumen 1). México. Cengage Learning y Serway, R. y Faughn, J. (2003) Fundamentos de Física (Volumen 1). México. Thomson Learning.

Antes que nada diremos que, en términos muy generales, en la física actual se habla de “campo” cuando se imagina una región del espacio-tiempo que presenta propiedades específicas, las cuales pueden variar o no en el tiempo y transmitirse a otras regiones. Hay campos escalares, vectoriales y otros. Por ejemplo, un campo de temperaturas puede ser imaginado como una región del espacio que rodea a un cuerpo a la cual se le puede asignar un valor de la temperatura en cada uno de sus puntos. Este sería un campo escalar. Los campos electromagnéticos son de carácter vectorial y se representan asignándole magnitudes vectoriales a cada punto, que representan propiedades eléctricas y magnéticas en dichos lugares, generadas, por ejemplo por alguna partícula o partículas cargadas que pueden o no encontrarse en esas posiciones. Estas propiedades pueden hacerse evidentes eventualmente mediante instrumentos como brújulas o electroscopios. El concepto de campo en física está vinculado al concepto matemático de función y se utiliza para describir cómo se comportan ciertas propiedades que se definen para una dada región en espacio y el tiempo.

Un poco de historia.

Es interesante ver como la dimensión histórica permite entender por qué la energía, y el relacionado a su transferencia, se anclan definitivamente a la noción de campo.

A los físicos les resulta bastante grato describir historias de la comunidad que los alberga y son muy respetuosos del conocimiento generado sociohistóricamente, tanto que actualmente en su asociación, la AFA (no es la de fútbol), la Asociación Física Argentina, tiene un división dedicada a historia de la Física: http://mf.fisica.org.ar/index.php?title=Divisiones_2012#Historia_de_la_f.C3.ADsica

Aunque la noción de campo, como dijimos, se formula con rigor científico en el siglo XIX, sus orígenes históricos son muy lejanos y pueden rastrearse desde la época de los griegos. Estos “filósofos naturales” estaban interesados en dos preguntas intrínsecamente relacionadas: a) si la materia era continua o discontinua (aceptando el vacío) y b) de qué manera se propagaba la “acción” física. La discusión llevó naturalmente al desarrollo de concepciones del espacio y materia que subyacieron a toda formulación al respecto del movimiento de los cuerpos, junto a una concepción de tiempo.

En cuanto a la constitución de la materia, las ideas de Pitágoras y sus seguidores apuntaban a materia constituida de puntos físicos discretos, pero el descubrimiento de los números irracionales condujo al concepto del continuo, que sería retomado por los filósofos estoicos durante el Siglo III, quienes consideraban que el universo debía

su unicidad a las cualidades de un cierto “pneuma” (espíritu), que también poseía las propiedades del fuego y el aire. El mismo Aristóteles sustentaba una concepción de espacio “lleno” de materia, en donde nociones como la de vacío no tenían cabida. Él usaba la noción de “lugar” más que la de espacio, apuntando fundamentalmente a la descripción geométrica de un cuerpo en términos de sus límites con el entorno, es decir, pareciera que en su visión los conceptos de “cuerpo” y “alrededores” estuvieran mutuamente embebidos. Sin embargo, se trataba de nociones absolutas que en general no permitieron el armado de una dinámica con poder predictivo. Salvando las diferencias, estas ideas, retomadas por Leibnitz (filósofo y matemático alemán) en el siglo XVIII, vuelven a resurgir, cargadas del esquema potente de la dinámica de principios de siglo, en la teoría de la relatividad general en la cual un cuerpo y la geometría del espacio en el que se localiza están estrechamente relacionados. Estas concepciones ya se apartaban bastante de las Newtonianas, que consideraban al espacio como una “caja vacía” independiente de los cuerpos que en él se movían. Superpuesto a esto estaba la idea de tiempo absoluto y de hecho ambas sentaron las bases para una Física con referentes claramente experimentales, pero restaron posibilidades para el armado de una estructura teórica más flexible y a la vez de un nivel mayor de generalización.

Los hechos se sucedieron paralelamente con respecto al problema de la propagación de la acción física; así en el siglo XVII, la acción por contacto y colisión fue la más aceptable intuitivamente. La visión Newtoniana de acción a distancia fue cuestionada por Leibnitz quien postuló para ella una especie de mecanismo de contacto “aún desconocido”. Isaac Newton (1642-1727) sabía que su visión del espacio no podía conducir a implicaciones acerca del mecanismo por el cual se transmitía la acción física; por el otro lado, Leibnitz, sostenía que el espacio no era más que un conjunto de relaciones. Sin embargo una disputa de esta naturaleza no estaba en condiciones de ser el punto crucial que legislara sobre dos teorías rivales acerca de la acción física. Se acepta así la acción a distancia Newtoniana, aunque de hecho fuera filosófica e intuitivamente dudosa, por una cuestión de necesidad y debido al impresionante éxito de la misma en la resolución de problemas vigentes. No fue sino hasta el final del siglo XVIII que la matemática requerida para tratar los sistemas continuos pudo ser desarrollada; con las formulaciones de William Hamilton (matemático, físico y astrónomo irlandés, 1805-1865) y Joseph Louis Lagrange (matemático, físico y astrónomo italiano 1736-1813) como trasfondo, fue relativamente sencillo asimilar los sistemas continuos como casos límite de sistemas discretos (no continuos), examinando como cambiaban las ecuaciones al aproximarse a tal extremo.

Un continuo, dicho brevemente, podría definirse como una región en la que no hay punto siguiente.

En el campo de los fenómenos eléctricos y magnéticos, es útil dar un breve pantallazo de las nociones de campo continuo que presenta el electromagnetismo clásico de Maxwell y cómo el concepto de energía comienza a tener un corrimiento hacia un lugar central en la teoría. Desde el siglo XVIII se habían levantado voces cada vez más frecuentes acerca de lo inadecuado del concepto de acción a distancia Newtoniana y la necesidad de considerar algunos planteos "energéticos" sobre el movimiento. Por ejemplo R. J. Boscovich (1711-1787) trabajó sobre la idea de que todos los fenómenos naturales eran manifestaciones de una única fuerza fundamental, proponiendo una visión que consideraba a la materia como singularidades matemáticas en un campo de fuerzas.

El siglo XVIII de hecho se caracteriza por la aparición de los "fluidos" elásticos en todas las ramas de la ciencia, como un intento de explicar la propagación de la acción física; esto llevó al desarrollo de un aparato matemático más sofisticado para el tratamiento de los procesos que encajaba muy bien con las postulaciones energéticas antes mencionadas. Sin embargo, no fue sino hasta el siglo XIX con los trabajos de Michael Faraday (físico y químico británico, 1791-1867) y Maxwell que pudo afirmarse con claridad que las teorías de campo estaban fuertemente caracterizadas por el concepto de energía.

Faraday fue uno de los que trabajó intensamente y con una gran intuición física sobre esos problemas, planteando la idea de que los efectos electromagnéticos se propagaban en un medio real, el "éter". Maxwell, contando tras de sí con un potencial matemático importante, también postuló una estructura para el éter, pero, en sus palabras, "sólo con propósitos ilustrativos" y no como afirmación de algún ente físico. Esta ruptura marca un importante avance en la flexibilidad y generalización del concepto de campo que, en la visión de Maxwell, se caracterizaba por la presencia de energía.

Resumiendo, concebiremos entonces la radiación como un modo de transferir energía por medio de ondas electromagnéticas. Dados que estas, como todas las ondas, pueden clasificarse por su frecuencia o longitud de onda, obteniendo un *espectro electromagnético* amplio, podemos decir que mediante esta manera de transferir energía en el campo a través del espacio-tiempo (no material) se pueden transportar grandes o pequeñas cantidades, dependiendo del rango del espectro en que nos encontremos.

Para redondear este aspecto de transferencia de la energía, y asociada a la necesidad de contar con criterios adecuados para evaluar y elegir dispositivos o mecanismos que realizan transformaciones energéticas directamente vinculadas

a la vida en sociedad, introduciremos la magnitud denominada **Potencia**. Como otros conceptos de este campo tan particular y cercano al desarrollo industrial y tecnológico, el significado del término y su ambigüedad conceptual, nos remontan una vez más al desarrollo histórico de la termodinámica y sus vinculaciones con la revolución industrial. No es poco común, como lo deja en claro la investigación sobre ideas alternativas de docentes y alumnos, tratar como sinónimos a términos como “potencia”, “poder”, “trabajo”, “fuerza” o “energía”, vinculándolos a máquinas, países o personas.

No obstante, para evitar incursionar en este terreno y reafirmando nuestra obsesión por diferenciar las ideas lo mejor posible, nos remitiremos directamente al significado físico del término. *Potencia*, en dicho contexto, hace referencia a una tasa de transferencia de energía con relación al intervalo de tiempo en que esa transferencia se lleva a cabo. Potencia no “es” energía por unidad de tiempo, o trabajo realizado en cada segundo; potencia es una magnitud nueva (ni energía, ni trabajo “por unidad” de nada, tal como la velocidad tampoco es “espacio” recorrido en la unidad de tiempo) Como dijimos, representa una tasa, una razón de cambio. Dar la Potencia de un dispositivo es decir algo acerca de cuán rápido este convierte y transforma la energía. La utilidad de este concepto como uno de los criterios para evaluar mecanismos que realizan transformaciones de energía es evidente: la misma transferencia puede llevarse a cabo en mayor o menor lapso de tiempo, acarreando consecuencias tanto económicas como ambientales. En varios de los siguientes capítulos se utilizará la potencia para caracterizar ciertos emprendimientos y dispositivos, valorando así su viabilidad y uso.

La unidad en que se expresa esta magnitud física es “Joule por cada segundo” (J/s), y se denomina “Watt” (W), en honor a James Watt, quien en 1765 propusiera una máquina de vapor que definitivamente se adoptaría durante la revolución industrial. El Watt fue adoptada en 1960 como la Unidad de Medida del Sistema Internacional de Unidades, (Algunos textos adoptan su versión castellanizada: “Vatio”). Siguiendo lo dicho anteriormente, debería poder diferenciarse el Watt (W) del “Watt .hora” (Wh) que sí representa una cierta cantidad de energía que puede también medirse en Joule (J) o, su castellanizada “Julio”.

Otro criterio para evaluar dispositivos es la *eficiencia o rendimiento*, que nos informa sobre cuanta energía “útil” (sobre la cual poder seguir efectuando transformaciones) contamos en un dispositivo, luego de haber invertido otra cierta cantidad de energía en hacerlo funcionar. Esta última magnitud es adimensional y se dice que un dispositivo con eficiencia 1 (uno) es por definición, aquel que posibilita seguir contando (para transformarla) con toda la energía invertida en su

puesta en marcha. (Algo que Carnot, en 1824 demostró que es imposible (Strnad, 1984)

Solo para que notemos que *potencia* y *eficiencia* son “criterios” diferentes que nos permiten elegir según nuestros propósitos, un dispositivo con alta eficiencia (cerca de uno), podría desarrollar una potencia extremadamente baja. Tal es el llamado “Ciclo de Carnot”, totalmente desastroso desde el punto de vista de la potencia.

Conservación y Degradación

Aunque estos son aspectos muy tratados actualmente en la mayoría de los textos de formación básica en las diferentes ciencias y carreras tecnológicas, desarrollaremos brevemente los mismos en forma complementaria, para diferenciarlos adecuadamente, aunque tenemos claro que su desarrollo histórico no fue en simultáneo y condujo, entre los años 1800 y 1900, a establecer los principios que sostienen el conjunto teórico de la Termodinámica. (Lopes Coelho, 2009)

Si, como nos suele suceder a la mayoría de las personas, se hace un análisis superficial de ambos términos, pueden parecerse antagónicos y hasta contradictorios. *¿Cómo es posible que la energía se conserve y al mismo tiempo se degrade?*

Conservación de la energía

Para indagar el aspecto y responder a la primera parte de esta pregunta debemos adentrarnos en el carácter abstracto del concepto de energía, por un lado, y en la cuestión social de la comunidad científica que, como ya mencionamos, acuerda “creer” (casi como una cuestión de fe) en determinados principios, siempre que se los mismos se corroboren una y otra vez experimentalmente, lo que no impide la tenacidad (y sanidad) de muchos científicos en tratar de demostrar su invalidez.

Para entender mejor utilizaremos una analogía (o “parábola” se diría en un contexto bíblico), relatada por el premio Nobel de Física Richard Feynman⁶:

“Hay un hecho, o si prefiere, una ley, que gobierna todos los fenómenos naturales conocidos hasta la fecha. No se conoce excepción a esta ley -es exacta hasta donde sabemos- La ley se llama la conservación de la energía. Establece

6 Feynman, R. Leighton, R y Sands, M. (1971) Física. Volumen 1, (pp. 4-1 a 4-3) Fondo Educativo Interamericano, ed. Bilingüe, Estados Unidos.

que hay cierta cantidad que llamamos energía, que no cambia en los múltiples cambios que ocurre en la naturaleza. **Esta es una idea muy abstracta, porque es un principio matemático; significa que hay una cantidad numérica que no cambia cuando algo ocurre.** No es la descripción de un mecanismo, o de algo concreto; ciertamente es un hecho raro que podamos calcular cierto número y que cuando terminemos de observar que la naturaleza haga sus trucos y calculemos el número otra vez, éste será el mismo. (Algo así como el alfil en un cuadro negro, que después de cierto número de movimientos -cuyos detalles son desconocidos- queda en el mismo cuadro. Es una ley de esta naturaleza.) Puesto que ésta es una idea abstracta, ilustraremos su significado mediante una analogía:

Imaginemos un niño, tal vez “Daniel el Travieso”, que tiene unos bloques que son absolutamente indestructibles, que no pueden dividirse en partes. Cada uno es igual al otro. Supongamos que tiene 28 bloques. Su madre lo coloca con los 28 bloques en una pieza al comenzar el día. Al final del día, por curiosidad, ella cuenta los bloques con mucho cuidado, y descubre una ley fenomenal -haga lo que haga con los bloques, siempre quedan 28! Esto continúa por varios días, hasta que un día hay sólo 27 bloques, pero una pequeña investigación demuestra que hay uno bajo la alfombra -ella debe mirar por todas partes para estar segura de que el número de bloques no ha cambiado-. Un día, sin embargo, el número parece cambiar -hay sólo 26 bloques- Una cuidadosa investigación indica que la ventana estaba abierta, y al mirar hacia afuera se encontraron los otros dos bloques.....Otro día, una cuidadosa cuenta indica que hay 30 bloques! Esto le origina gran consternación, hasta que se sabe que Bruce vino a visitarlo, trayendo sus bloques consigo y que dejó unos pocos en la casa de Daniel. Después de separar los bloques adicionales cierra la ventana, no deja entrar a Bruce, y entonces todo anda bien, hasta que una vez cuenta y encuentra sólo 25 bloques. Sin embargo, hay una caja en la pieza, una caja de juguetes, y la madre se dirige a abrir la caja, pero el niño dice: “No, no abras mi caja de juguetes”, y chillaba. A la madre no le estaba permitido abrir la caja de juguetes. Como es extremadamente curiosa, y algo ingeniosa, inventa un ardid” (y en otro momento realiza cálculos con fórmulas teniendo en cuenta la masa de la caja cuando está sin bloques y la de los bloques, para saber cuántos estarán adentro cuando no pueda abrirla) “En el aumento gradual de la complejidad de su mundo, ella encuentra una serie completa de términos que representan modos de calcular cuántos bloques están en los lugares donde no le está permitido mirar. Como resultado, encuentra una fórmula compleja, *una cantidad que debe ser calculada*, que en su situación siempre permanece la misma. ¿Cuál es la analogía de esto con la conservación de la energía? El

más notable hecho que debe ser abstraído de este cuadro es *que no hay bloques.* ”

La analogía tiene los siguientes puntos: Primero; cuando estamos calculando la energía, a veces algo de ella deja el sistema y se va, y a veces algo entra. Para verificar la conservación de la energía debemos tener cuidado de no agregar ni quitar nada. Segundo, la energía tiene un gran número de formas diferentes y hay una fórmula para cada una. “... “Si hacemos el total de las fórmulas para cada una de estas contribuciones, no cambiará a excepción de la energía que entra y que sale.

Es importante darse cuenta que en la física actual no sabemos lo que la energía **“es”**. No tenemos un modelo de energía formada por pequeñas gotas de un tamaño definido. No es así. Sin embargo, hay fórmulas para calcular cierta cantidad numérica, y cuando las juntamos todas nos da “28” –siempre el mismo número-. Es algo abstracto en el sentido que no nos informa el mecanismo o las *razones* para las diversas formulas”

Hay numerosas maneras de enunciar este principio físico en el que subyace el aspecto de conservación de la energía. Como hemos dicho, numerosos textos de física, química, biología y otros dan cuenta de ello (varios hemos ya citado). Pero lo fundamental de este aspecto de conservación está en esa idea de “balance”, que Feynman nos relata tan elocuentemente, la cual permite proponer ecuaciones y calcular la cantidad de energía que le asignaremos al sistema que estudiamos una vez que lo delimitemos adecuadamente (su energía interna) y a las transferencias que están ocurriendo u ocurrieron con su entorno, mediante las diferentes maneras que tenemos para transmitir y de las cuales hemos estado hablando anteriormente.

Siguiendo la propuesta de Marcelo Alonso y Edward Finn (1995,1997) y que fuera plasmada en su texto de Física Básica para el nivel superior (1995), diremos que el primer principio de la termodinámica afirma que la energía de un sistema aislado permanece constante, o si se prefiere, la variación de la energía de tal sistema es nula. Esto significa que si en el sistema que estamos estudiando ocurren cambios de cualquier tipo, mecánicos, térmicos, químicos, electromagnéticos, etc., la energía involucrada en los mismos, podrá cambiar su forma, pero su valor total permanecerá constante si el sistema está aislado. Si no lo está, la energía que permanece en el sistema (interna), deberá ser igual a la que se ha intercambiado con el entorno, por alguna de las formas que hemos mencionado. Es decir, el “número de bloques de la analogía de Feynman” debe ser siempre el mismo.

En términos de ecuación matemática expresaremos el principio de conservación de la energía de la siguiente forma (**para un sistema no aislado**):

$$\Delta U_{\text{Sist}} = Q + W + R$$

Donde, ΔU_{Sist} : representa la variación de la energía interna que le asignamos al sistema (“final menos inicial”, indicado por la letra griega Δ) Esta variación, bajo una interpretación básica mecánico-estadística del mismo puede imaginarse como energía cinética interna asociada a las partículas, energía asociada a la interacción entre ellas, energía asociada a la estructura intrínseca que puedan tener (por ejemplo si se trata de moléculas) y

Q + W + R: representa la cantidad total de energía intercambiada (transferida) entre sistema y entorno por medios térmicos (calor), mecánicos (trabajo) u ondulatorios no mecánicos (radiación).

Debemos advertir, estimado lector, que la mayoría de los textos no adopta esta ecuación para presentar el primer principio de la termodinámica, nosotros lo hemos adoptado aquí con fines didácticos, con la esperanza de que se comprenda mejor este aspecto de la energía relacionado a transformaciones y transferencias, y también tratando de ser coherentes con el cuadro que hemos presentado respecto al concepto de energía y sus aspectos relevantes.

Dado este llamado de atención proponemos que, una vez concluida la lectura de este capítulo, se exploren algunos textos de nivel superior que se tengan a mano sobre el tema (incluso los que hemos propuesto nosotros en diversos momentos), visualizando las diversas maneras en que se presenta este principio. En cada caso, deberá interpretarse adecuadamente lo que significan *los términos* y *los signos* que proponen los diversos autores y no adoptar las ecuaciones sin un análisis previo de sus alcances.

Degradación de la energía

Este aspecto está sin duda vinculado a la noción de *irreversibilidad* de los procesos naturales que ocurren *espontáneamente*. Precisamente para describir ese aspecto, una vez más en el contexto de la termodinámica, se construyó el concepto de *entropía*, vinculándola también, a escala macroscópica, a la *disponibilidad* de energía en el marco de su conservación. La relación entre estos conceptos dio lugar al *segundo principio de la termodinámica*, en el cual obviamente, “se cree a rajatabla”, con las mismas precauciones que el primero.

La idea y corroboración experimental de la irreversibilidad de los procesos se formalizó con el físico teórico alemán Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888) quien, alrededor de 1850, “dibujó” el concepto de *entropía*, desarrollando la idea de que durante la transferencia de energía por calor para realizar trabajo, algo de ella no estaba más disponible; es decir, aunque la transferencia de energía por trabajo podía utilizarse íntegramente para transferencias de energía por calor, el procedimiento inverso no era posible.

El nombre entropía.

Nos parece una vez más interesante y con buenas perspectivas pedagógicas, acudir a la historia de las ciencias, cuando debemos intentar comprender el significado de conceptos abstractos como el de entropía.

*En 1865, Clausius publicó un trabajo titulado “Sobre las variadas formas-convenientes para aplicaciones-de las ecuaciones principales de la teoría mecánica del calor” (Clausius, 1865). En ese artículo el utilizó el símbolo **U** para denotar la actualmente conocida energía interna asociada al sistema y con posterioridad definió una nueva Función de estado, **S**, mediante la ecuación:*

$$s = s_0 + \int \frac{d^*Q}{T}$$

*Donde **S**₀ es el valor inicial de dicha función; **d*****Q** denota la cantidad de energía transferida por calor al sistema (en sus palabras “cantidad de calor”: Wärmemenge), que depende del “camino termodinámico” seguido (procesos) y **T** denota la temperatura absoluta del sistema (variable de estado del sistema).*

*Cuando él va a nombrar esa nueva función de estado (**S**), escribe: “Si uno busca un nombre que caracterice a **S**, entonces-en analogía con la manera que uno dice que **U** es el contenido de calor y trabajo del cuerpo- uno podría decir que la cantidad **S** es el contenido de transformación (Verwandlungsinhalt) del cuerpo. Considero que es mas apropiado buscar nombres para estas cantidades importantes científicamente a partir de los lenguajes clásicos, de manera que ellos puedan ser aplicados sin cambio en todos los lenguajes modernos, por lo tanto, propongo nombrar a la cantidad **S** la entropía (Entropie en alemán), a partir de la palabra griega **η τροπή**, la transformación. He construido intencionalmente la palabra entropía para que sea tan similar como sea posible a la palabra energía (Energie en alemán), ya que estas dos cantidades, que serán conocidas por estas palabras, están tan estrechamente relacionadas en su significado físico, que me ha parecido apropiado conservar dicha similitud al nombrarlas”.*

De esta manera, en la interpretación de Clausius esta nueva función del estado del sistema que él denominó **entropía**, quedó vinculada macroscópicamente a *la medida de indisponibilidad de energía para seguir siendo transformada*.

Colocado en términos formales modernos, el segundo principio de la termodinámica establece que para un sistema aislado, la variación de la entropía cumple la siguiente regla:

$$\Delta S \geq 0$$

Dado que un sistema más todos sus entornos (universo) puede considerarse como un sistema aislado, lo anterior significa que *la entropía del universo siempre aumenta a no ser que se trate de procesos reversibles* (signo igual).

El concepto de entropía si bien guarda similitudes con el de energía en cuanto a su carácter de función de estado, como Clausius lo propone, conlleva en el contexto histórico de su creación una *profunda diferencia* con aquel y es *el hecho de su no-conservación*; esto precisamente es lo que le da al Segundo Principio el carácter de “legislador” de la disponibilidad de la energía y de las transformaciones posibles que ocurren entre los sistemas naturales.

Todos los procesos espontáneos que ocurren en la naturaleza son irreversibles y lo hacen sólo en la “dirección” de aumento de la entropía. En otras palabras en las situaciones naturales el sistema nunca regresa *espontáneamente* a su estado original⁷, para que ello ocurra siempre será necesario “actuar desde el entorno” mediante otras transformaciones energéticas irreversibles (lo cual supone disponibilidad para ello).

En los procesos espontáneos naturales (irreversibles), la energía se vuelve cada vez menos disponible o útil, para seguir haciendo transformaciones sobre ella que permitan intercambios (transferencias) útiles entre sistema y entorno. Y esta “no disponibilidad” esta medida por la entropía.

Resumiendo: Por así decirlo el primer principio asegura la conservación de la energía del universo y el segundo nos habla de aquella porción de la energía que no puede ser usada para intercambiarla mediante trabajo

7 Desde una interpretación estadística de la segunda ley, principalmente debida al físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) y que no desarrollamos aquí por escapar de los objetivos de este texto, deberíamos decir que es “altamente improbable que el sistema regrese a su estado original”. Véase Calzetta, E (2009) *Ibid.* Pág. 95. (Ya citado)

Una primera aproximación a la definición de energía

Retomando, por un lado, los aspectos de conservación y degradación que acabamos de desarrollar, el punto de vista sociohistórico de Clausius y su intención de asemejar nominalmente los conceptos de *entropía* y *energía*, y, por el otro, dados los aspectos de transformación y transferencia que hemos analizado reconociendo diversas *formas* para la energía, así como diferentes *modos de transmitirla*, diremos que, en primera aproximación, **la energía asociada a un sistema indica la medida de la posibilidad de seguir realizando transformaciones sobre el mismo**. En este sentido, los diversos *cambios* en los sistemas, pueden asociarse con sus respectivas *variaciones* de energía interna.

Por otra parte, acordando con las numerosas recomendaciones sobre cómo enseñar hoy el concepto de energía (Domenech, 2007), rescatamos el *carácter sistémico* de este concepto; es decir, cuando hablamos de energía siempre hemos de referirnos a sistemas interactuando; no tiene sentido científico pensar en objetos aislados y asignarles energía. Volveremos sobre este carácter de la energía en el último capítulo.

Sistema de Unidades y energía

Se podrá notar que, salvo en el caso de Potencia, no hemos hablado hasta aquí de las unidades en que medimos la energía. No lo hemos hecho explícitamente para no perder el hilo conceptual y la diferenciación de significados que deseamos ir construyendo. No obstante, las unidades también nos ayudan a discriminar adecuadamente “de qué magnitudes estamos hablando” en cada caso y a tomar decisiones adecuadas sobre los criterios de elección de procesos y mecanismos que transformen y transmitan la energía de los sistemas. En el resto del texto se encontrarán numerosos ejemplos de cantidades con sus unidades en la descripción de los recursos y diferentes formas de energía. Sugerimos que para empezar las siguientes lecturas, se de un vistazo al Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA) y se reconozcan las unidades vinculadas a la energía y sus conceptos relacionados. Existen numerosas referencias al respecto, una de ellas es: http://www.edutecne.utn.edu.ar/simela/unidades_de_medida_FRCON.pdf

A modo de conclusión del capítulo

Para finalizar y abrir paso al resto del texto, debemos decir que en tiempo de “crisis energética”, estamos atravesados por múltiples mensajes sobre como “conservar” o “ahorrar” energía. De todo lo que hemos discutido y analizado en este primer capítulo deberá quedar claro, estimado lector, que aunque la energía sea, como la entropía, uno de los conceptos abstractos de la física (y no hayamos dado una definición literal para ella), este concepto está en el corazón mismo de cada una de sus ramas, así como de las otras ciencias y los desarrollos tecnológicos que de ellas se desprenden.

Al considerar los diferentes aspectos que la caracterizan, podemos afirmar, más allá de los “slogans” o mensajes publicitarios, que la *cantidad* de energía del universo se conserva, pero no su *calidad* o posibilidad de ser transformada nuevamente y transferida a otros sistemas para su aprovechamiento útil. En este sentido, desperdiciar energía es sinónimo de elegir aquellos procesos (irreversibles) que, dando como resultado un excesivo aumento de la entropía, llevan a los sistemas a estados energéticos de baja posibilidad de transformaciones sucesivas.

Por lo tanto, toda evaluación de recursos energéticos y mecanismos o técnicas que transformen energía en nuestra sociedad, debería hacerse considerando los dos grandes principios de la termodinámica, a los fines de elegir procesos que aumenten lo menos posible la entropía del universo, dejando margen para una irreversibilidad que nos permita seguir pensando en un futuro sostenible de la vida en nuestras culturas.



CAPÍTULO II

Recursos energéticos y política energética

Nancy Sisca

Recursos energéticos, ubicación y disponibilidad.

Si bien hemos dicho que la energía total de un sistema aislado se conserva, sabemos que en cada transformación se degrada, se hace “menos recuperable”, por eso es que necesitamos recurrir a las llamadas “fuentes de energía”. Esta manera de hablar sobre la energía en el contexto económico-social torna natural el hecho de que nos refiramos a “fuentes de energía” como aquellos reservorios para obtenerla. Esta expresión si bien es muy gráfica no es del todo correcta, o “científicamente adecuada”, pues nos presenta la energía como “emanada” de dichas fuentes. Para mejorar la conceptualización de esta idea hablaremos de **Recursos**.

Decimos que un **recurso natural** es aquel elemento que se encuentra en la Naturaleza y que debido a sus características puede ser utilizado por el hombre para satisfacer sus necesidades materiales y/o energéticas. Los recursos naturales son la base del desarrollo y progreso de las sociedades humanas. En particular, definiremos **recurso energético** a aquel que nos permite transformar su energía para aprovecharla de diversas maneras (energía eléctrica, mecánica, etc.).

Hay distintas clasificaciones de los recursos energéticos. La más generalizada, aunque no es la que aquí utilizaremos, los categoriza por la manera como se puede transferir energía entre ellos y su entorno. En este caso se nombran las fuentes de energía distinguiendo entre:

Energía primaria: se puede transferir la energía usando el recurso en el estado en que se extrae o captura de la Naturaleza, en forma directa, como en el caso del agua, viento, sol, o después de un proceso de extracción o recolección, como el petróleo, gas, carbón mineral, leña y uranio.

Energía secundaria: se puede transferir la energía a partir de transformaciones en los recursos primarios, como la energía eléctrica obtenida en las centrales de generación o el combustible diesel obtenido en refinerías. Tienen como principal característica su uso directo en los diferentes sectores de consumo (industrial, comercial o doméstico) o en otros centros de transformación (como el caso del diesel que es obtenido de la refinería para su empleo en una central térmica). Se encuentran también entre esos recursos energéticos el gas licuado, naftas, etc.

Otra manera, que nos parece más adecuada para este texto, es clasificar a los recursos energéticos como no renovables (se agotan) y renovables (inagotables). En verdad podemos enriquecer el significado de estos conceptos asegurando que nada es inagotable totalmente; sí podemos diferenciar aquello que se agotará a muy largo plazo, por ejemplo el sol, de lo que se agotará a corto plazo, como el petróleo. Será pues en este sentido que clasificaremos los recursos energéticos que aquí desarrollaremos, basándonos en su utilización y disponibilidad, distinguiendo dos categorías:

- **Recursos no renovables:** son los que se extraen de yacimientos, se encuentran en la tierra desde hace miles de años y son agotables a corto plazo. Ellos son *el carbón, petróleo, gas natural (combustibles fósiles) y uranio*.
- **Recursos renovables:** son los que permiten realizar durante un muy largo plazo, procesos que acarrear transformaciones energéticas que producen cambios en el entorno. En general se encuentran libres y pueden estar al alcance de todos. Ellos son *el sol, viento, agua de mares y ríos, biomasa y el calor interno de la tierra*, un término controvertido que redefiniremos más adelante¹. Estos recursos originan la conocida clasificación de energías renovables: solar, eólica, hidráulica, mareomotriz, de la biomasa, y geotérmica.

Según esta perspectiva, considerando al sistema sol-tierra como aislado (en el cual se conserva la energía), cuando se habla de “*crisis energética*”, deberíamos referirnos más bien a una “*crisis de recursos energéticos*”, y en especial de los recursos no renovables, pues como vemos, los recursos renovables permanecerán disponibles por mucho más tiempo. En este punto es importante aclarar que la

¹ Recordá que en el primer capítulo nos hemos referido al calor tanto como un modo de intercambiar energía como a la energía neta intercambiada entre el sistema y el entorno.

crisis no se debe sólo al agotamiento de los recursos, sino al uso que de ellos se hace, al aumento de consumo por el crecimiento de población mundial, y la relación de estos aspectos con los problemas ecológicos asociados a dicho consumo que ponen en riesgo la habitabilidad del planeta.

Recursos no renovables en Argentina

Los combustibles fósiles son el recurso energético más importante para la humanidad. Carbón, gas y petróleo producen el 80 % de toda la energía que consume el planeta, quedando el 20 % restante para la energía hidroeléctrica, la energía nuclear y las llamadas energías renovables.

Nuestro país presenta un gran potencial energético en materia de reservas, pues cuenta con la totalidad de recursos antes mencionados. Sin embargo esto sólo no alcanza para que podamos afirmar que somos energéticamente independientes, como aclararemos hacia el final del capítulo.

Analizaremos brevemente los recursos no renovables con que cuenta nuestro país.

Carbón

Con este vocablo se indican diferentes sustancias que no siempre son de origen fósil, que es el que nos interesa como recurso energético. (Por ejemplo, el carbón vegetal que se obtiene de la combustión incompleta de leña o por la destilación seca de la madera). Nosotros nos referiremos al carbón mineral, sustancia fósil que resulta de la descomposición lenta de materia vegetal hasta transformarse en roca mineral. El carbón es pues una variedad de carbono impuro de origen vegetal (maderas, algas, hojas) formado por procesos de sedimentación, en el cual se produce un progresivo enriquecimiento en carbono y donde esos restos se cubren con depósitos arcillosos, lo que contribuye al mantenimiento del ambiente anaerobio, adecuado para que continúe el proceso de carbonificación. En las cuencas carboníferas las capas de carbón están intercaladas con otras capas de rocas sedimentarias como areniscas, arcillas, y a veces rocas metamórficas como esquistos y pizarras. Esto se debe a la forma y el lugar donde se genera el carbón.

Tipos de carbón: El índice de cambio sufrido por un carbón al madurar desde la turba hasta la antracita, conocido como carbonización, tiene una gran importan-

cia en las propiedades físicas y químicas, y se denomina “nivel” del carbón. Para clasificarlo se utiliza un rango, que tiene en cuenta la cantidad de carbono y de materia volátil, su humedad y poder calorífico². En él se encuentran los carbones de mayor a menor rango con el siguiente orden:

- Antracita
- Bituminoso (bajo, medio y alto en volátiles)
- Sub-bituminoso
- Lignito
- Turba

(La *hulla* abarca una amplia gama de carbones bituminosos con distinto poder calorífico).

El carbón se explota desde la Antigüedad, siendo los romanos los primeros en utilizarlo como combustible doméstico. Su uso estuvo ligado a los cambios sociales y económicos. Sirvió fundamentalmente para impulsar la Revolución Industrial, al crearse la máquina a vapor. Hacia el siglo XX fue desplazado por el petróleo y el gas natural perdiendo en la década de los sesenta gran protagonismo, que sólo ha recuperado parcialmente en la actualidad, fundamentalmente al ser utilizado en centrales termoeléctricas. Sin embargo su uso es muy cuestionado por los residuos sólidos que deja en su combustión y la emisión de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera que supera en gran cantidad a los demás combustibles fósiles.

En la Argentina las zonas carboníferas se extienden a lo largo de la precordillera y en la Cordillera de los Andes, en las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Chubut y Santa Cruz. En esta última provincia se ubica desde 1943 la “Cuenca Carbonífera Río Turbio” que es la única mina de carbón en funcionamiento actualmente. Su producción es de 1.200.000 toneladas de carbón bruto por año. Estudios recientes han revelado que en Santa Cruz, además de la cuenca mencionada, se encuentran recursos de lignito en el Río Coyle y sector medio del Río Santa Cruz que ascienden a 7.350.000.000 de toneladas de carbón, lo que equivale aproximadamente a 15 veces las reservas de carbón de Río Turbio. Considerando una recuperación del 75 % se podría lograr 1,7 veces las reservas comprobadas de gas y petróleo combinadas con que cuenta actualmente nuestro país.

² Término muy empleado en el ámbito de la ingeniería y que se define como la cantidad de energía liberada por calor mediante la combustión de una unidad de masa de combustible.

Del carbón a la electricidad a través de la Megausina

La construcción de la megausina termoeléctrica de Río Turbio se concretó hace poco tiempo pero es un proyecto que se remonta a varias décadas, y que fundamentalmente pretende aprovechar el carbón del lugar para generar energía eléctrica, con una potencia instalada de 240 MW y una energía media anual de 1.600 GWh. Si bien se han alzado voces de crítica sobre la construcción de la controvertida usina en la cuenca carbonífera, la empresa adjudicataria Isolux Corsán, aseguró que los sistemas de generación de energía que manejan son muy confiables y aceptados en la comunidad europea por los altos estándares de seguridad que posee sobre el medio ambiente y el irrisorio impacto que tiene sobre la comunidad. Los cuestionamientos que existieron y existen sobre la instalación de la mega usina en Río Turbio son el tremendo costo de la obra, la inviable posibilidad de aprovisionar el carbón necesario para su funcionamiento con la producción actual del yacimiento y el inevitable impacto ambiental que tendrá para la población.

Un subproducto de suma importancia energética del carbón es el syngas (gas de síntesis o Sintegas) que es un combustible gaseoso obtenido a partir de sustancias ricas en carbono sometidas a un proceso químico a alta temperatura. Existe una tecnología de Gasificación Subterránea de Carbón (UCG por sus siglas en inglés) que consiste en inyectar aire al carbón que está en el subsuelo para quemarlo, en esa combustión controlada se genera el syngas, que se transporta a la superficie y luego de ser tratado se puede enviar a un generador para producir energía eléctrica. Así los procesos de inyección de oxígeno (O_2), oxidación del combustible y recuperación del gas dejan un residuo sólido que no escapa a la superficie. Esta tecnología que ya se aplica en muchos países del mundo, pronto se utilizará en el sur de Chile y se podría usar en Argentina. Por otra parte en la cuenca de Claromecó, en la provincia de Buenos Aires (si bien aún no se conocen estimaciones acerca del volumen del recurso), se considera muy significativo un estudio de reservas de antracita que podría aportar, con tecnologías modernas como la citada, volúmenes importantes de syngas (gas de síntesis) y probablemente de metano.

Petróleo

(Aceite de roca) Es una mezcla homogénea de compuestos orgánicos denominados hidrocarburos formados por átomos de carbono e hidrógeno, y pequeñas porciones de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales. Se ubica en depósitos de roca sedimentaria y sólo en lugares antes ocupados por el mar. A partir de éste se pueden obtener gasolinas, naftas, alquitrán, kerosene y varios subproductos, según los distintos procesos de separación y refinación. Aporta el mayor porcentaje del total de la energía que se consume en el mundo.

Su utilización es tan antigua como la historia del hombre que al comienzo sólo lo advertía cuando se filtraba por alguna falla hasta la superficie. Los sumerios lo utilizaban para embalsamar cadáveres, los griegos preparaban bolas con estopa y petróleo para lanzarlas encendidas a sus enemigos.

“La real utilización del petróleo en la industria y en el transporte comienza cuando se puede acceder a los yacimientos mediante pozos hechos por el hombre y hay además un mercado que los demanda. Sólo en la segunda parte del siglo XIX se dieron estas condiciones, en especial en los Estados Unidos de América y en Rusia. La rápida expansión de la industria en estas regiones se debió también a la gran libertad con que los pioneros pudieron, en aquella época, adquirir derechos mineros e iniciar exploraciones.”³

En la Argentina, si bien se conmemora el 13 de diciembre de 1907 como el día del descubrimiento del petróleo en Comodoro Rivadavia, se pueden citar como antecedentes a la *Compañía Jujeña de Kerosene*, que en 1865 nace como la primera empresa en la historia argentina “dedicada a explotar y elaborar betún mineral” y en 1885 se funda la *Compañía Mendocina de Petróleo S.A.*, en el yacimiento Cacheuta, que exploró 30 pozos y extrajo 8.000 toneladas de petróleo por año antes de cerrar.

Nuestro país cuenta con 19 cuencas sedimentarias con reservorios de petróleo, con una superficie de aproximadamente 1.750.000 km². Actualmente las cuencas productivas son cinco: Noroeste, Cuyana, Neuquina (compartida con Río Negro, La Pampa y Mendoza) Golfo San Jorge (Chubut y Santa Cruz Norte) y Austral o de Magallanes (Santa Cruz y Tierra del Fuego). Estas ocupan un 40 % de la superficie conocida como útil a los fines petroleros. La cuenca Neuquina y la cuenca de Golfo de San Jorge, contienen el 75 % del total de las reservas comprobadas en el país.

3 El aBeCé del Petróleo y del Gas (3ª edición) CABA. Editado por el IAPG P.21 del Capítulo 2 “La Historia del Petróleo y del gas”.

Un factor sumamente importante en la actividad petrolera lo constituyen las reservas, las que deberían incrementarse por lo menos en la misma proporción que el consumo. Para ello es necesaria la permanente exploración y evaluación de las cuencas sedimentarias, lo que conforma una de las variables económicas de mayor riesgo para las empresas petroleras.

Es por ello que hay que prestar atención cuando se habla de la “crisis del petróleo” o de su agotamiento, pues debemos diferenciar las reservas que se pueden calcular en las cuencas explotadas en la actualidad, con las que aún no se han explorado.

Un aspecto a tener en cuenta con respecto al petróleo, es el deterioro que causa en las zonas de explotación. Se ha avanzado mucho en materia de leyes de protección al ambiente, aumentando la presión respecto a su desarrollo sustentable, con remediación de los terrenos afectados durante y después de la vida útil de cada pozo petrolero. Sin embargo este aspecto debe seguir profundizándose con la concientización ciudadana y las leyes necesarias que aseguren el desarrollo sustentable de la actividad.

Finalmente, por tratarse de un hidrocarburo, su combustión emite a la atmósfera óxidos de carbono, azufre y nitrógeno. Estas emisiones, en especial el dióxido de carbono, profundizan el aumento del efecto invernadero con consecuencias irreversibles al ambiente.

Gas natural

Está constituido por una mezcla de hidrocarburos gaseosos, principalmente metano (entre el 70 % y el 95 % de la mezcla) y en menor proporción etano, propano y butano. Algunos yacimientos de gas están asociados a los de petróleo, mientras que otros son propios de gas natural. Su origen puede ser por degradación bioquímica (materia orgánica degradada en rocas sedimentarias de poca profundidad) o por degradación química (acumulación de residuos orgánicos a gran profundidad y de mayor antigüedad).

El gas natural es conocido desde la Antigüedad, pero su explotación a gran escala comienza en 1930 en Estados Unidos, donde se lo extrae independientemente del petróleo. Es desde mediados de los setenta que aumenta su importancia como recurso energético utilizándose por sobre el petróleo, especialmente en centrales termoeléctricas para generar electricidad. Otra aplicación importante es su uso en calefacción doméstica, cocción de alimentos, calentamiento de agua, y como materia prima en la industria petroquímica (fabricación de amoníaco y

fertilizantes). En 2002 el gas natural se convierte en el recurso energético más importante del país al alcanzar el 48 % frente al 42 % del petróleo. En 2010 el gas representa el 50 % de la oferta frente a un 37 % del petróleo, que sigue demostrando su decadencia en producción y reservas. Una aplicación clara del gas natural como recurso energético es cuando se lo utiliza en forma comprimida. De esta manera, se convierte en lo que comúnmente se conoce como **GNC** (Gas Natural Comprimido). Pero es recién desde el año 1995 que se utiliza este recurso como combustible para los vehículos. Se considera muy beneficioso para los automóviles, puesto que el precio de compra resulta muy accesible, siendo el combustible más barato y el menos contaminante.

Aclaremos también la denominación de **GNL**, que es gas natural convertido temporalmente en líquido para aumentar su capacidad de transportación. El GNL es aproximadamente 600 veces más denso que el gas natural, lo que significa que se puede transportar la misma cantidad de éste en compartimentos 600 veces más pequeños, otorgando una alternativa viable de su transporte.

Las virtudes comparativas del gas natural respecto a otros combustibles fósiles son su nivel altísimo de eficiencia eléctrica (aprox. el 60 %), ser el combustible fósil más limpio ya que produce poca contaminación y emite menos CO₂ que el petróleo y el carbón. Además se utiliza tanto como combustible de transporte, para generar electricidad y energía por calor, y es más abundante que el petróleo.

En la Argentina, los yacimientos gasíferos están asociados a los de petróleo. Neuquén es la primera provincia productora de gas de la Argentina (produce cerca del 50 % del gas natural del país). Posee además, el yacimiento de gas más grande de Latinoamérica, Loma de la Lata, que abastece el 26 % del mercado nacional y alberga la mitad de las reservas de Argentina. Le siguen la cuenca del Golfo San Jorge, que concentra el 36 % de las reservas y la del Noroeste, que concentra el 25 % de las reservas de gas.

¿Qué es el gas natural no convencional, tight gas y shale gas?

“En la segunda jornada de la Argentina Oil & Gas Expo 2011, una feria de compañías petroleras, directivos de distintas empresas petroleras que encararon en los últimos dos años el desarrollo de yacimientos de arenas de baja permeabilidad (tight gas) o lutitas (shale gas) cuyo disparador de proyectos fue el lanzamiento del Programa Gas Plus, confirmaron que los planes de inversión de todo el conjunto del sector petrolero por

ejecutarse en 2012 excederán los 5.000 millones de dólares”⁴

Los recursos no convencionales son hidrocarburos (petróleo y gas) que se encuentran en unas condiciones que no permiten el movimiento del fluido, bien por estar atrapados en rocas poco permeables, o por tratarse de petróleos de muy alta viscosidad. Se requiere una tecnología especial para su extracción debido a las propiedades del hidrocarburo o por las características de la roca que lo contiene.

El shale gas es el gas natural contenido en rocas arcillosas llamadas esquisto (shale en inglés) con un alto contenido de materia orgánica y muy baja permeabilidad (roca madre). Para su explotación es necesario perforar pozos horizontales y fracturar la roca madre para liberar el gas. De acuerdo con los geólogos, hay más de 688 shales en el mundo en 142 cuencas.

Actualmente, solamente una docena de éstas tienen potenciales de producción conocidos, la mayor parte en Norteamérica. Esto significa que hay literalmente centenares de formaciones de shale en el mundo que podrían producir el gas natural.

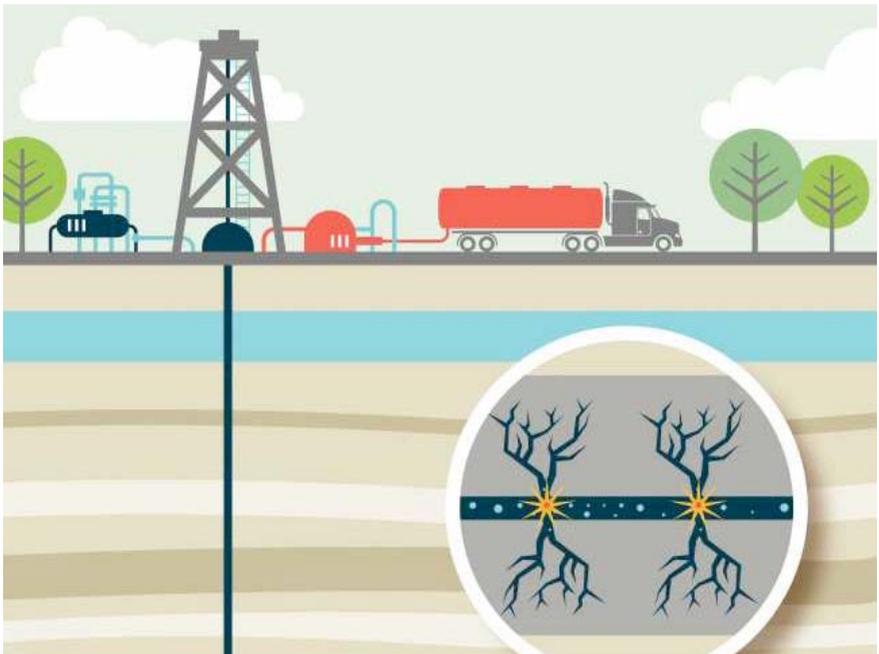


Figura 2.1 Obtención de gas y petróleo por fracking. Fuente: <http://noticiasvenezuela.org/2012/11/30.los-problemas-del-fracking/>

4 <http://www.girolaboral.com.ar/n50-las-petroleras-tienen-planes-para-invertir-u-s5.000-m.-en-2012.>

La revolución por la búsqueda de este tipo de hidrocarburo comenzó hace algunos años incentivada a medida que maduran y se agotan los tradicionales yacimientos de gas y petróleo y crecen las presiones para sustituir el consumo de carbón por un combustible menos contaminante.

En Argentina, se encuentra en reservorios de arcilla compacta y precisa de tratamientos de estimulación por fractura hidráulica para su producción. A pesar de su compleja y costosa extracción, este tipo de reservorios tiene una importancia creciente debido a los grandes volúmenes de gas contenidos en ellos. Un estudio del Departamento de Energía de EE.UU. ubicó a la Argentina como el tercer país del mundo con recursos potenciales de gas no convencional, detrás de China y muy cerca de Estados Unidos. Con reservas estimadas para más de 50 años, se ha anunciado un gigantesco yacimiento en la provincia de Neuquén, lo que le dará un margen de respiro ante la carencia de este recurso no renovable.

La preocupación que se ha despertado en cuanto a la explotación del shale gas es la tecnología que se debe utilizar. Básicamente, extraer el gas natural del esquisto es un proceso industrial. Como tal, requiere cantidades masivas de agua y bastante cemento, así como también una producción a gran escala de tuberías. El agua utilizada, al ser procesada con químicos, queda completamente contaminada. En ocasiones, la cantidad de agua utilizada supera a la empleada en la megaminería a cielo abierto, así como también es mayor la cantidad de químicos utilizados. En varios países europeos se ha suspendido la explotación de este recurso hasta que se concluyan las investigaciones acerca de los efectos sobre el medio ambiente de la técnica de fracturación hidráulica.

Por otro lado el tight gas, se trata del gas de "arenas compactas", contenido en rocas con baja porosidad y permeabilidad, difícil de capturar por la dureza de ésta y las arenas que rodean el yacimiento. Por eso, la inversión para desarrollar este tipo de yacimientos es mucho más elevada que la que se requiere para los convencionales. Es más difícil de lograr, por ende es más caro, y sale a menos presión. Sin embargo existen recursos significativos en las cuencas Neuquina y Austral, y la tecnología está disponible. La inversión de empresas con experiencia en este tipo de reservorios y técnicas extractivas no convencionales depende de los incentivos comerciales y financieros como así de las políticas del Estado para incentivar su explotación, siendo el Plan Gas Plus un primer paso en el tema.

Uranio

Es un mineral metalífero existente en la naturaleza en bajas concentraciones. El uranio es más abundante que el oro y la plata (800 y 40 veces respectivamente). Es levemente radioactivo. Para su uso el uranio debe ser extraído y concentrado a partir de minerales que lo contienen, como por ejemplo la uraninita. Las rocas son tratadas químicamente para separar el uranio, convirtiéndolo en compuestos químicos de uranio. Se encuentra constituido esencialmente por dos isótopos: el uranio238 y el uranio235. El ^{235}U se utiliza como combustible en centrales nucleares y en algunos diseños de armamento nuclear. Para producir combustible, el uranio natural es separado en dos partes, una llamada uranio enriquecido, mientras que el sobrante con menos concentración de uranio se llama uranio empobrecido. El enriquecimiento de uranio es una tecnología muy difícil de desarrollar y la poseen escasos países en el mundo. Argentina la desarrolló y la utiliza experimentalmente en la localidad de Pilcaniyeu, cerca de Bariloche.

El Uranio es el elemento clave para el desarrollo de la Energía Nuclear, mediante la fisión de átomos de uranio. La energía que produce este proceso de fisión origina el vapor que se emplea para impulsar una turbina que genera electricidad. La producción de un suministro fiable de electricidad a partir de la fisión nuclear exige extraer, procesar y transportar el uranio; enriquecerlo y empaquetarlo en la forma adecuada; construir y conservar el reactor y el equipo generador, y procesar y retirar el combustible gastado. Estas actividades requieren procesos industriales complejos y conocimientos especializados, al mismo tiempo que normas de seguridad sumamente rigurosas por tratarse de un material radiactivo.

La Argentina posee numerosos yacimientos de uranio, (recurso que podría satisfacer las necesidades de un programa nuclear hasta mediados del siglo XXI) ya que las minas de este mineral están ampliamente distribuidas por todo el mundo y no todos los países las poseen. Luego del descubrimiento de la fisión nuclear el uranio se convirtió en un metal estratégico, lo cual beneficia a nuestro país ya que es una materia prima muy requerida por otros países y se podría decir que poseemos una gran ventaja sobre ellos porque al contar con importantes yacimientos de uranio podríamos exportarlo y lograr así un beneficio económico. Hoy sabemos de yacimientos de uranio en Salta, Catamarca, La Rioja, Mendoza, Rio Negro, Chubut y Santa Cruz.

Los primeros estudios sobre yacimientos uraníferos se iniciaron en el país a partir del año 1938, en las Provincias de Córdoba y San Luis. Entre los años 1945 y 1949, se descubrieron varias manifestaciones y pequeños yacimientos de uranio

en la Provincia de La Rioja, continuando entre los años 1950 y 1956, con la Universidad Nacional de Cuyo, en colaboración con la entonces Dirección Nacional de Energía Atómica, que realizó la exploración de algunos yacimientos. A partir del año 1956, el total de las actividades relacionadas con la minería del uranio se concentró en la CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica) que tiene como tareas: energía nuclear, aplicaciones de la energía nuclear, seguridad nuclear y ambiente, investigación básica, así como también capacitación y formación de recursos humanos.

En este momento la actividad nuclear argentina se encuentra regida por el **Plan Nuclear 2006**, que es la reactivación del Plan Nuclear Argentino, en base a la necesidad de aumentar la producción de energía eléctrica para satisfacer la demanda. La CNEA tiene entre sus objetivos llevar adelante este plan, incluyendo el cateo de uranio en varias provincias argentinas, lo cual no está exento de problemas a la hora de compatibilizar las necesidades de este Plan con las legislaciones provinciales en cuanto a la extracción de este mineral. El objetivo del plan es lograr un nivel de producción nacional que permita dejar de importar uranio.

Dentro de esa política, también está previsto colocar en el mundo nuevos reactores de construcción argentina, poner en marcha nuevas centrales nucleares en el país y continuar la producción de combustible nuclear con la experiencia que brinda el fabricarlo desde hace más de 30 años y además haberlo exportado exitosamente a distintos países de Europa, África y América del Sur.

El Plan Nuclear 2006 incluye estudios de factibilidad para la construcción de una cuarta central nuclear y también la construcción del prototipo del reactor integrado de diseño Argentino CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares). Este es un reactor de media y baja potencia realizado íntegramente con tecnología nacional. Por último se reactivará en 2012 la producción de agua pesada en la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) de Arroyito, en la provincia de Neuquén. Este producto es estratégico para las centrales nucleares que funcionan con uranio natural. A diferencia del agua común ésta se conforma con dos átomos de deuterio y uno de oxígeno. Se usa como moderador y refrigerante del reactor nuclear. La planta de Arroyito podría generar unas 200 toneladas de agua pesada por año⁵.

5 Más información en: www.cnea.gov.ar

Centrales nucleares eléctricas, mitos y realidad

Las centrales eléctricas nucleares fueron vistas desde sus comienzos, en la década de 1950, como una alternativa al uso del carbón, evitando así su efecto contaminante. Sin embargo, accidentes ocurridos en varios países y en especial el de Chernobyl, Ucrania, en 1986 y en Fukushima luego del terremoto y Tsunami de 2011 en Japón, generaron fuertes resistencias a la instalación y funcionamiento de estas centrales, participando en este movimiento organizaciones ambientalistas y políticas. Muchos establecimientos fueron cerrados hasta el presente, en unos casos por razones ambientales pero en muchos otros porque su tecnología fue superada. No obstante, en el mundo hay aún muchas plantas en construcción. A pesar de objeciones y cuestionamientos, las plantas electronucleares han alcanzado un importante desarrollo y suministran el 15 % de la electricidad consumida en el mundo.

Una de las ventajas de utilizar estas centrales es la gran potencialidad que desarrollan con el uso de muy poco combustible. Tan sólo una tonelada de combustible nuclear produce la energía equivalente a lo que dos o tres millones de toneladas de combustibles fósiles producen. Por otro lado, su uso disminuye las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero emitidos como residuo del uso de combustibles fósiles, por lo que contribuye a la lucha contra el calentamiento global.

En cuanto a sus desventajas, podemos decir que por utilizar como combustible un recurso no renovable, éste se va a agotar lo que la hace una energía no sostenible a largo plazo. Un importante factor en contra del uso de la energía nuclear tiene que ver con la seguridad en las centrales y la propensión a accidentes como los que ya han ocurrido. Otro aspecto importante que se debe considerar es que las plantas nucleares se degradan rápidamente durante su funcionamiento, y es muy peligroso que no trabajen en óptimas condiciones. Permitir que una planta llegue a más de 30 años de vida útil aumenta el riesgo de un posible accidente. Por último, uno de los argumentos más importantes en contra del uso de energía nuclear es el grave problema de los residuos radiactivos de alta actividad, pues aún no existe una solución definitiva para su gestión o eliminación, teniendo en cuenta que la radioactividad puede durar por miles de años.

Argentina, posee dos centrales nucleares en funcionamiento (Atucha I en Lima, Pcia de Buenos Aires y Embalse, en Rio Tercero, Córdoba) y otra próxima a inaugurarse (Atucha II, cercana a la primera). La potencia eléctrica neta que desarrollan es de 357 MW, 648 MW y 745 MW, respectivamente⁶.

6 Más información en: <http://www.na-sa.com.ar/centrales>

Litio

Si bien este mineral no es un recurso energético en sí mismo, vamos a analizarlo por ser considerado un elemento estratégico para la construcción de nuevas tecnologías, ya que forma parte esencial en la fabricación de pilas y baterías recargables, en especial para autos eléctricos. Se trata de un elemento químico, rápidamente oxidable en el agua y en el aire. El litio es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre, sobre todo en sales o en rocas de origen volcánico; sin embargo su obtención es algo dificultosa porque en general no se encuentra por separado, sino incrustado y mezclado en rocas con otros elementos químicos debido a su considerable reactividad. Por su elevado calor específico⁷ se emplea en aplicaciones de transferencia de energía por calor y por su elevado potencial electroquímico constituye un ánodo⁸ adecuado para las baterías eléctricas.

El agotamiento de las reservas de petróleo es una realidad cercana y las principales corporaciones del sector automotriz lo saben. Es por ello que están desarrollando avances tecnológicos que han permitido el lanzamiento de modelos de vehículos que utilizan la energía eléctrica como combustible. Por ahora se trata de los denominados “híbridos”, que combinan un motor de combustión interna tradicional con otro eléctrico, pero asoman en el horizonte los autos completamente eléctricos. Para su funcionamiento, se utilizan baterías que permiten almacenar energía. Es allí donde entra en juego el carbonato de litio, un compuesto químico que si bien ya es conocido en la industria (farmacéutica, cerámica, del vidrio y electrónica) se potenciará cuando comiencen a fabricarse en serie los mencionados automóviles eléctricos, alimentados por baterías de litio. Estas tienen la ventaja de ser más ligeras que sus equivalentes de níquel cadmio o de níquel hidruro.

Los expertos aseguran que de los diez millones de toneladas métricas de reserva de litio que existen en el planeta, cerca de nueve millones están en Latinoamérica, principalmente en Argentina, Chile y Bolivia, que en conjunto aportan hoy el 55 % del litio que consume la industria mundial. Se estima que la mitad de las reservas del mundo están en Bolivia, en el Salar de Uyuni, seguido por Chile y nuestro país.

7 El calor específico se define como la medida de energía por calor que hay que transferir a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad de temperatura (kelvin o grado Celsius).

8 En un circuito eléctrico el ánodo es el conductor eléctrico en el que se produce una reacción de oxidación (el material pierde electrones)

En Argentina, las reservas de litio se encuentran en Salta (Salar Centenario, de Llullaillaco, del Rincón, Pocitos y Salinas Grandes) en Jujuy (Salar de Olaroz, Caucharí y Salinas Grandes) y en Catamarca (Salar del Hombre Muerto) También hay reservas aunque en menor escala en Córdoba. La importancia de los salares de la Puna radica en que allí el litio está en el lecho subterráneo de los salares, por lo cual su extracción es menos costosa y compleja que en otras regiones del mundo.

Es importante aclarar que la explotación del litio que se hace en nuestro país está en manos de mineras extranjeras, canadienses y australianas, asociadas con importantes industrias automotrices, Volkswagen, Mitsubishi y Toyota, que están interesadas en garantizar ese insumo clave para sus modelos eléctricos de automóviles. Bolivia en cambio, pudo superar las presiones de las multinacionales extranjeras y está explotando el Salar de Uyuni por una sociedad estatal.

El panorama para este recurso no renovable es muy prometedor, y la propia Mitsubishi estima un desborde de la demanda para los próximos 10 años. La estabilidad política de la región, a pesar de las diferencias lógicas entre Bolivia, Chile y Argentina y la mano de obra especializada que posee Latinoamérica podrían ser la combinación perfecta para lograr convertir la Puna en la Arabia Saudita del litio del siglo XXI.

Del Salar a las baterías de litio... un recorrido posible en Argentina

Ha surgido en nuestro país un proyecto que le da valor agregado al litio. Un emprendimiento conformado por capitales públicos y privados comenzará a producir, a partir de setiembre de 2012, baterías de ion -litio. Este desarrollo comenzó en 2011, a partir de un proyecto integrado por organismos científicos, las Universidades Nacionales de La Plata y Córdoba, la CNEA y el CONICET, recibiendo además financiamiento del Ministerio de Ciencia y Tecnología y el apoyo del Ministerio de Industria. En un principio se fabricarán con pastas compradas en el exterior, pero se estima que para 2013 ésta se producirá en Argentina y en 2014 ya se contará con plantas purificadoras de litio que permitirán una producción 100 % local. Parte de las baterías fabricadas se utilizarán en las notebooks del Plan Conectar Igualdad pero el proyecto aspira a poder exportar baterías y avanzar en la fabricación de baterías para autos eléctricos.

Si querés más del tema, visitá las páginas de los organismos mencionados o descargá de You Tube un video explicativo sobre las baterías de litio realizado por el Dr. Daniel Barraco, coordinador del proyecto.

Silicio

Es un elemento químico no metálico, es un metaloide de la familia de los carbonoides. Es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (27,7 % en peso) después del oxígeno. Se presenta en forma amorfa y cristalizada; el primero es un polvo parduzco, más activo que la variante cristalina, de color azul grisáceo y brillo metálico. La sílice (SiO_2) está formada por lo menos por seis minerales diferentes. Se presenta en rocas ígneas, tanto plutónicas como volcánicas, en rocas metamórficas y en rocas sedimentarias actuando como cemento.

Su importancia como recurso se relaciona en este caso con la construcción de celdas fotovoltaicas para transformar la energía solar en electricidad. Para la fabricación del silicio aplicado en los sectores de la informática y la energía solar, se utiliza una variedad ultrapura del mismo. Primero se extrae el silicio del cuarzo (o de otro mineral), en el que se presenta como dióxido de sílice. Este tipo de material ya se puede utilizar para añadirlo al aluminio o para fabricar siliconas. Un segundo proceso (denominado Siemens) es el que se encarga de mudar este primer silicio en ultrapuro, convirtiéndolo primero en gas, del cual se extrae el silicio ultrapuro con la ayuda de un reactor a alta temperatura al que se añade hidrógeno. Entonces sí se pueden fabricar los semiconductores y las obleas para aplicaciones de energía solar.

En los primeros años de la industria de paneles fotovoltaicos, la provisión de silicio estaba controlada y tenía bajo costo pues se utilizaba parte del silicio que rechazaba la industria electrónica. Pero esto fue cambiando y la materia prima se ha convertido en un obstáculo. La tecnología solar es considerada clave en el siglo XXI. El silicio urgentemente necesario para su uso es, desde hace años, una de las materias primas más buscadas del mundo. Pero este material es escaso, porque la creación de capacidades de producción de silicio de la máxima pureza no ha podido seguir el ritmo de la demanda, que vive un crecimiento desenfrenado en todo el mundo. Las empresas solares que no se han asegurado suministros de silicio a largo plazo ya tienen hoy en día problemas para cumplir sus objetivos de crecimiento, que es vertiginoso, sobre todo en Asia. Esto sitúa a los países con silicio y tecnologías adecuadas en una posición de privilegio para aventurarse a la producción de paneles solares.

En Argentina se encuentran importantes yacimientos de cuarzo localizados en el ámbito de las Sierras Pampeanas, que por su baja calidad se destina a la industria metalúrgica. Los centros de mayor producción de cuarzo se localizan en las Sierras de Córdoba y San Luis, donde las variedades de más alta pureza se destinan a la industria química, cerámica, vidrio y esmaltes y el cuarzo hidrotermal se destina a la industria siderúrgica. En la Provincia de San Juan se encuentran numerosos depósitos distribuidos en el basamento cristalino de las Sierras de Valle Fértil, La Huerta y Pié de Palo, al este de la provincia.

En lo referido a reservas, y según datos proporcionados por autoridades mineras de cada provincia, en Córdoba existen más de 4 millones de toneladas, en San Luis se estiman en más de 1 millón de toneladas y en San Juan se han medido reservas del orden de 1,4 millones de toneladas.

Y si hablamos de la realidad argentina...

Como podemos ver, la Argentina posee a lo largo de su territorio todos los recursos energéticos no renovables que hemos analizado, y otros que pueden servir para fines energéticos en el transporte (autos eléctricos) o para generar electricidad (paneles fotovoltaicos). Sería interesante que a esta altura, participaras investigando lo que sucede en tu región, en tu provincia, en tu ciudad y sus alrededores. ¿Qué recursos no renovables hay?, ¿cuales se explotan actualmente? ¿Qué proyectos mineros hay en tu provincia y cuales están en ejecución? ¿Qué leyes ambientales se han discutido respecto al uso de esos recursos? Para nosotros sería de mucho interés que nos escribas contándonos lo que has investigado.

En fin, la lista de interrogantes puede completarse y está en tus manos hacerlo, estimado lector, porque ya te hemos anticipado que este libro es de ida y vuelta. Cuando hayas completado esta "tarea" es probable que estés en condiciones de tomar una mejor postura como ciudadano y como docente, pues la reflexión sobre estos temas te permitirá analizar la situación no sólo con una mejor base científica sino con el conocimiento de la realidad de tu entorno en materia de recursos.

Recursos renovables en Argentina

Vamos a ocuparnos ahora de los recursos energéticos renovables, los cuales dijimos deben ser considerados agotables a largo plazo ya que no disminuye su existencia en relación al tiempo de vida de los hombres. Estos recursos están relacionados con los ciclos naturales de nuestro planeta, haciendo posible que dispongamos de ellos permanentemente. Son abundantes y gratuitos, no contaminantes y no producen desechos, en especial radiactivos.

Sol

Es una estrella gaseosa de casi 700.000 km de radio. En su interior, donde la temperatura llega a los 15 millones de grados centígrados, una presión altísima provoca reacciones nucleares. Se liberan protones (núcleos de hidrógeno), que se funden en grupos de cuatro para formar partículas alfa (núcleos de helio). Cada partícula alfa tiene menos masa que los cuatro protones juntos. La diferencia de masa en forma de energía se expulsa hacia la superficie del Sol⁹. Un gramo de materia solar libera tanta energía como la combustión de 2,5 millones de litros de gasolina (nafta en Argentina y bencina en Chile).

Ha brillado en el cielo desde hace unos 5.000 millones de años, y se estima que brillará algunos 6.000 millones de años más. Además, diariamente nuestro planeta recibe del sol aproximadamente 15.000 veces la energía consumida mundialmente.

El Sol siempre ha cautivado el interés de las civilizaciones. Los primeros habitantes de la Tierra atribuían al Sol grandes poderes y lo consideraban la principal "fuente de vida". Civilizaciones avanzadas de América describían con gran exactitud los movimientos del Sol y su importancia para los ciclos de siembra y cosecha. El progreso científico de los dos últimos siglos nos ha llevado a confirmar el criterio de nuestros antepasados sobre la importancia del Sol y los fenómenos asociados a él, que son: emisión de ondas electromagnéticas (en todo el espectro: luz visible y radiaciones ultravioleta e infrarroja), y sus campos magnético y gravitatorio. Estos aspectos físicos del Sol se complementan con los fenómenos sociales y síquicos, aceptados por algunos y rechazados por otros, como sus efectos en la salud, el crecimiento y el estado de ánimo de los seres vivos, pues es muy

9 Si recordás la teoría relativista de Einstein, la masa es una manifestación de la energía ($E=mc^2$)

común ver que en los lugares cálidos y soleados, las conductas humanas resultan más amables, extrovertidas y sociables, que en lugares fríos y nublados.

Si bien el recurso energético solar no puede ser cuantificado en la misma forma que los no renovables, podemos estimar que de la energía que transfiere el sol, la Tierra recibe una energía promedio de 3×10^{17} kWh al año, equivalente a 4.000 veces el consumo del mundo entero en un año (7×10^{13} kWh/año), lo cual nos indica su enorme potencial. Además de aprovecharla de manera natural (vientos, evaporación de los mares, fotosíntesis para la producción de biomasa, gradiente térmico de los mares, etc.), la energía solar se puede convertir en energía para calentamiento y energía eléctrica, y por lo tanto puede remplazar cualquier otro recurso energético convencional. Sin embargo hay que tener en cuenta que la energía solar está sometida a continuas fluctuaciones y a variaciones más o menos bruscas, según la época del año y la ubicación geográfica de quienes quieran aprovecharla. Es por ello que para utilizar este recurso con mayor eficiencia se necesita contar con datos de la radiación solar del lugar.

Argentina cuenta con un buen potencial solar. Debido a la amplitud longitudinal y latitudinal, posee una gran variedad de climas, siendo el predominante el templado aunque se extiende a un clima tropical en el norte y un subpolar en el extremo sur. Más allá de las temperaturas, lo importante al momento de evaluar el recurso solar, es estudiar y ponderar la radiación que llega a las diferentes latitudes. Este trabajo se ha venido realizando por científicos argentinos, que compilaron datos de distintas fuentes, como por ejemplo el Dr. Grossi Gallegos que en 1997 elaboró un conjunto de cartas a nivel de superficie de la radiación solar global en Argentina, para lo cual se procesó toda la información disponible en el país. Años después, este científico junto al Dr. Raúl Righini elaboraron el "Atlas de Energía Solar de la República Argentina"

El Sol sale para todos... pero sólo algunos se dedican a estudiarlo

El Grupo de Estudios de la Radiación Solar (GERSolar) de la Universidad Nacional de Luján (UNLu), al que pertenecen los físicos Grossi Gallegos y Righini, junto con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) e YPF S.A., ha sido beneficiada con la adjudicación de un subsidio para ejecutar el Proyecto "Sistema nacional de evaluación de energía solar" que se centra en el diseño e implementación de un sistema nacional de evaluación de la radiación solar, que generará la posibilidad de desarrollar fuentes alternativas de aprovechamiento energético y ofertará al mercado laboral la generación de empleo asociada a esta clase de proyectos energéticos, posibilitando

un mejor aprovechamiento del sol a la hora de instalar desde un calefón solar en una casa hasta plantas generadoras de energía eléctrica, confeccionando el mapa solar de Argentina. . El proyecto se realizará gracias a un subsidio del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (MINCYT)

Viento

Es un recurso energético que tiene su origen en el sol. “El viento se genera por el calentamiento desigual que sufre la tierra. El calentamiento es más intenso cerca del ecuador y durante el día, esto provoca que las zonas más calientes se muevan sobre la superficie de la tierra en su movimiento de rotación. Generalmente el aire caliente sube, para después circular por la parte superior de la atmósfera y caer en las zonas más frías. A nivel del suelo la circulación es en sentido inverso. El efecto combinado del desigual calentamiento de la tierra y de las fuerzas centrífugas y de Coriolis debidas a la rotación, da lugar a vientos a escala terráquea con unas tendencias más o menos permanentes” (Luxan y Jiménez, 2003)

Se calcula que entre el 1 % y el 2 % de la energía proveniente del sol se transforma en viento, lo que representaría 53 TWh/año, alrededor de cinco veces más que el consumo eléctrico en todo el planeta. A pesar de la inmensa potencialidad del viento, su aprovechamiento depende de varios factores, y las tecnologías actuales sólo permiten aprovechar los vientos horizontales y con un rango de velocidad limitada.

Desde la antigüedad el hombre aprovechó el viento, como puede verse en grabados de por lo menos 3.000 años AC, donde egipcios, fenicios y romanos entre otros lo usaron en la navegación. Alrededor del año 200 AC los persas documentan el aprovechamiento del viento en artefactos de molienda. Si bien el recurso eólico se ha utilizado por mucho tiempo para el bombeo de agua, comenzó a tener protagonismo para la generación de electricidad en los últimos 30 años y la energía eólica se ha convertido en la energía renovable de mayor crecimiento, habiendo alcanzado desarrollos tecnológicos muy significativos. Hoy se aprovecha el viento en el continente, en las costas y también en los mares. Existe la posibilidad de generar electricidad en lugares aislados, usando aerogeneradores de baja potencia, como también de construir grandes parques eólicos conectados a las redes de distribución de electricidad.

El aprovechamiento del viento está limitado por su carácter disperso, intermitente y aleatorio, por lo cual antes de pensar en emprendimientos eólicos se debe realizar un exhaustivo estudio del recurso. Sin embargo las ventajas en la utilización de este recurso son su libre acceso y abundancia en ciertas regiones del mundo, no incide sobre las características del suelo, no emite gases tóxicos ni de efecto invernadero ni deja residuos peligrosos. Para proyectar el emplazamiento de un parque eólico o colocar un aerogenerador en una vivienda aislada, es necesario conocer el potencial eólico del lugar. Existen mapas que determinan las regiones con mejor potencial eólico y dan las características de los vientos de la región, así como también se utilizan software que realizan prospecciones sobre el recurso disponible, la energía aprovechable, el tipo de aerogenerador que es conveniente utilizar, entre otras características.

En la Argentina, " la región Patagónica, única tierra firme en la banda de 40º a 50º latitud S con vientos casi permanentes del sector WSW á SW, es una de las regiones de mayor potencial eólico del planeta, gracias a la dirección, constancia y velocidad del viento, pudiendo alcanzarse con granjas eólicas allí instaladas factores de capacidad superiores al 35 %. Para muchos especialistas, el viento patagónico es el de mejor calidad en todo el mundo como recurso continental. En el resto del mundo sólo se encuentran vientos de energía o persistencia equivalentes en algunas islas del Mar del Norte y del Pacífico Norte, o en instalaciones "off shore".¹⁰ La experiencia mundial indica que con vientos medios superiores a 5 m/s es factible el uso del recurso eólico para la generación eléctrica. La Argentina tiene en cerca del 70 % de su territorio vientos cuya velocidad media anual, medida a 50 metros de altura sobre el nivel del suelo, supera los 6 m/s. La costa atlántica de la Provincia de Buenos Aires tiene vientos similares a los de las costas del Báltico y del Mar del Norte, superiores a los 7 m/s. Vastas zonas en la Patagonia media y sur cuentan con velocidades promedio que superan los 9 m/s y hasta 12 m/s. Por lo general las granjas eólicas on-shore en Europa se encuentran en sitios con promedios de vientos del orden de 7m/s. Existen también otras regiones en la Argentina con vientos de intensidades medias entre 7m/s y 10 m/s, no sólo en la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires sino también en varias provincias centrales"¹¹

10 Término en inglés que significa "en el mar, alejado de la costa" y se usa para indicar la deslocalización de un recurso o proceso productivo, en este caso parques eólicos ubicados en el mar.

11 AAEE (2009) La eólica en Argentina. Noticias más leídas En línea: http://www.argentinaeolica.org.ar/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=341&Itemid=6 Fecha de consulta 7/4/12

El relevamiento del recurso eólico argentino tiene sus orígenes en la tarea del Dr. Héctor Mattio, director del Centro Regional de Energía Eólica (C.R.E.E.) creado en 1985 mediante un convenio entre la Provincia de Chubut, la Universidad Nacional de la Patagonia y la Secretaría de Energía de la Nación.

A partir de fines del año 1990 el Centro Regional de Energía Eólica depende exclusivamente de la Provincia de Chubut y en la actualidad trabaja como ente consultor en el ámbito nacional e internacional. La firme decisión del Poder Ejecutivo Nacional de fomentar la utilización del viento como recurso para la generación de energía eléctrica ha permitido establecer en 2005 un Plan Estratégico Nacional de Energía Eólica suscrito entre el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios y la Provincia de Chubut, considerando la participación del CREE, para la confección de un Mapa del Potencial Eólico Argentino.

Los datos originales que dieron lugar a la confección final del Mapa del Potencial Eólico Nacional han sido obtenidos de diversas fuentes, invitando a cada provincia a confeccionar su propio mapa, con la intención de formar en todo el país profesionales capacitados en el tratamiento del recurso eólico.¹²

Agua

Es un elemento básico para la vida sobre la tierra; es la sustancia más abundante, si consideramos que el 71 % de la superficie terrestre está cubierta por agua, de la cual el 97 % es salada y el 3 % es dulce. Estos porcentajes muestran por qué es un bien tan preciado ya que en muchas regiones es muy escasa su existencia.

Desde la antigüedad el hombre utilizó cursos de agua (desde grandes ríos hasta arroyos) como fuente de energía mecánica; griegos y romanos utilizaron la energía hidráulica por medio de norias, para mover ruedas de molinos y elevar el agua. A fines del siglo XIX, con el descubrimiento de la corriente alterna, se diseñaron las primeras centrales hidroeléctricas. Con el tiempo el hombre aprendió a utilizar no solo el agua de los ríos caudalosos, sino que desarrolló tecnologías para generar electricidad con microcentrales de baja potencia, y aprovechar también la energía de los mares y océanos, a través de la energía mareomotriz y undimotriz, como veremos en el próximo capítulo.

El océano constituye un reservorio energético actualmente desaprovechado,

12 Este mapa se ha materializado en el SIG Eólico (Sistema de Información Geográfica). Entró a la página del Ministerio de Planificación Federal de la Nación y/o a la Secretaría de Energía para conocerlo.

estimándose que su potencial sería el equivalente a 2.000 millones de toneladas de carbón. Se estima que las mareas del mundo acumulan un potencial de 3 TW de potencia; sin embargo por razones técnicas las centrales mareomotrices generan con el 25 % de eficiencia, y su localización está reducida a ciertas zonas del planeta. Por otra parte las olas almacenan otros 3 TW de potencia, aunque recién se está analizando su explotación, estimándose para algunos proyectos un aprovechamiento de 100 GW, sin dejar de lado las dificultades tecnológicas que se presentan debido a la corrosión del agua de mar y el mantenimiento de las estructuras e instalaciones necesarias.

Por otra parte, la energía hidráulica debida al aprovechamiento de los ríos ha sido utilizada por mucho tiempo y es la energía renovable más desarrollada en el mundo. En Argentina, si bien sólo un

4 % de la matriz energética corresponde a la energía hidráulica, las represas existentes son responsables de la generación de más del 40 % de la electricidad del sistema eléctrico nacional. Lo novedoso en este aspecto es que se están desarrollando proyectos de aprovechamiento de cursos de agua de menores caudales, apostando a la microhidráulica, que puede solucionar la generación de electricidad en zonas aisladas que cuenten con arroyos y pequeños ríos.

¡Agua que no haz de beber... transfórmala en energía eléctrica!

En este momento la única obra hidroeléctrica a gran escala proyectada para nuestro país es el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Santa Cruz, con las represas Cóndor Cliff y La Barrancosa (llamadas a partir de 2012 Gobernador Jorge Cepernic y Presidente Néstor Kirchner respectivamente). Su efectivización demandará 5 años de construcción y aportará 1.740 MW de potencia al Sistema Eléctrico Nacional. El complejo será el tercero en tamaño de Argentina. La obra "Complejo hidroeléctrico sobre el río Santa Cruz" permitirá aprovechar el caudal de este río patagónico. Si bien éste posee una gran regularidad hidrológica y es el tercero más caudaloso del país (caudal medio de 720 m³/s), éstos son los primeros aprovechamientos energéticos que se realizan en su cuenca. El emprendimiento es de vital importancia para la región patagónica y el país porque aumenta considerablemente la oferta energética (producción anual promedio de 5.535 GWh), diversifica la matriz de energía disminuyendo la dependencia de los hidrocarburos, permite la utilización del petróleo y sus derivados en usos de mayor valor agregado, genera energía limpia con un recurso renovable, y evita la emisión de gases de efecto invernadero y contaminación ambiental. Además aporta al crecimiento económico de la provincia y la región, generando puestos de trabajo e investigación científica y tecnológica en la Patagonia.

Biomasa

“La biomasa abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, el término biomasa se emplea para denominar a una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivados de ésta. También tienen consideración de biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (...) 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. Esta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dando como productos finales dióxido de carbono 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 y eléctricos, y líquidos como sinónimo de los biocarburantes para automoción.”(Fernández 2005)

La gran diversidad de elementos que conforman este recurso hace muy difícil dimensionar su potencial en términos de reservas, como también su carácter renovable ya que es consecuencia de la acción del sol. Desde residuos agrícolas y forestales, residuos animales, industriales y hasta los residuos sólidos urbanos (RSU), como también los cultivos energéticos y variedades de algas de mar y río, son biomasa. Se podría sin embargo establecer que del total de energía que se consume en el planeta, la biomasa supone un 14-15 %, pero su reparto es muy desigual entre países industrializados y los que están en vías de desarrollo.

La biomasa ha sido el primer combustible usado por el hombre. Se usó para cocinar, calentar las viviendas, hacer cerámica y posteriormente para fundir metales. A mediados del siglo XVIII fue sustituida por el carbón. Sin embargo hay regiones de nuestro planeta que aún tienen en la biomasa su principal recurso energético.

Hoy se ha puesto el énfasis en su utilización para producir combustibles líquidos y gaseosos, en reemplazo de los combustibles fósiles, ya que el uso de la biomasa reduce el efecto invernadero, favorece la reforestación al reducir la degradación del suelo y el combustible producido genera menos dióxido de azufre (SO_2).

Desde finales de la década de 1970 la biomasa comenzó a considerarse un

recurso energético potencial en los países desarrollados, pero es en estos últimos 10 años que se ha apostado fuertemente a tomarla como una alternativa más que viable.

Esto se debe fundamentalmente a la crisis energética sufrida por los primeros embargos de petróleo de aquella década, el creciente desarrollo de la actividad agrícola y la producción de excedentes que obligan a buscar usos alternativos, a la vez que creció la conciencia ambiental sobre la necesidad de no emitir tanto CO₂ a la atmósfera, reemplazando los combustibles tradicionales. También los avances tecnológicos han demostrado la capacidad de utilizar la biomasa en sus más variadas formas y se siguen buscando alternativas cada vez más eficientes y novedosas.

Argentina posee un territorio muy apto para el aprovechamiento agrícola ganadero, por lo cual queda mucho material de esta actividad que se puede utilizar. Al mismo tiempo la industria maderera que también se desarrolla en el norte del país deja residuos de alto valor energético. Sin embargo en los últimos tiempos nuestro país se ha destacado por la producción de biocombustibles. Contamos con una considerable amplitud climática, una gran calidad y variedad de suelos y un sector agrícola de avanzada. Somos el octavo país más grande del mundo en territorio lo cual nos posiciona como una alternativa para cultivos energéticos, que han generado en los últimos años una industria muy importante y competitiva a nivel mundial, con exportaciones de biocombustible a Europa y Asia, al mismo tiempo que han generado la alerta medioambientalista respecto a la disyuntiva de cultivar para “alimentar o quemar como combustible”.

Por otra parte, la problemática de los RSU que aumentan exponencialmente sobre todo en las ciudades muy pobladas, ha llevado a considerar “la basura” como un recurso factible para reutilizar en Plantas de Tratamiento de RSU en las cuales se pueden instalar biodigestores para producir gas. Estas solucionarían el autoabastecimiento de calefacción en estas plantas y podrían utilizar este combustible en centrales termoeléctricas adosadas a esas plantas.

Calor interno de la Tierra

Esta expresión es usada para definir la *porción del calor* (retomando la “idea del calórico”) que, desprendido desde el interior de la tierra, puede ser aprovechado por el hombre en condiciones técnicas y económicas.

Nosotros preferimos llamarlo **recurso geotérmico** y definirlo como el recurso que aprovecha la desintegración de isótopos radiactivos en el interior de la tierra

y los movimientos diferenciales entre las distintas capas terrestres, que provocan fenómenos de transmisión térmica convectiva e implica movimientos de los materiales viscosos del interior terrestre, lo que a su vez libera energía. En función de la temperatura del fluido geotermal se determinarán sus usos y aplicaciones. Por tanto, el objetivo de la geotermia es el aprovechamiento de la energía asignada al interior de la tierra, en zonas de agua de alta presión, sistemas de vapor o de agua caliente, en rocas calientes ligadas a volcanes, aguas termales, fumarolas y géiseres.

A diferencia del resto de energías renovables cuyo origen es la radiación solar, ya sea de forma directa como la solar o de forma indirecta como la eólica, hidroeléctrica y biomasa, la energía geotérmica proviene del interior de la Tierra. Considerando toda la superficie de la Tierra, la energía geotérmica total que se transfiere desde su interior es de $4,2 \times 10^{12}$ J. Se trata de una cantidad inmensa de energía, pero sólo una fracción de ella puede ser utilizada por la humanidad. Por otra parte, está localizada solo en regiones determinadas por condiciones geológicas favorables.

Los recursos geotérmicos se clasifican habitualmente en dos tipos: recursos geotérmicos de alta temperatura en los que ésta supera los 150 °C y recursos geotérmicos de baja y media temperatura, cuando ésta no alcanza los 150 °C. Las condiciones para la existencia en una zona determinada de recursos de alta temperatura o baja temperatura son diferentes, primando en el primer caso las condiciones de tipo geológico y en el segundo las condiciones de tipo económico. Los yacimientos de alta temperatura se aprovechan principalmente para la producción de electricidad. Cuando la temperatura del yacimiento no es suficiente como para producir energía eléctrica, sus principales aplicaciones son térmicas en los sectores industrial, servicios y residencial. En el caso de temperaturas por debajo de los 100 °C puede hacerse un aprovechamiento directo o a través de una bomba de calentamiento geotérmica (calefacción y refrigeración). Cuando se trata de recursos de temperaturas muy bajas (por debajo de los 25 °C) las posibilidades de uso están en la climatización y obtención de agua caliente.

El uso más antiguo del recurso geotérmico, más precisamente de las aguas termales, tiene que ver con sus propiedades curativas. Ya los romanos en Pompeya utilizaban las aguas termales para tratar problemas oculares y las enfermedades de la piel, y para calentar sus hogares y edificios públicos. El primer "spa" se estableció en 1326 en Bélgica, con aguas termales. La geotermia se utilizó por primera vez para generar electricidad en 1904 en Larderello, Italia.

En la Argentina, como en la mayoría de los países, el uso directo de la geotermia comenzó con la balneología, que es como se sabe, el primer tipo de los usos directos de la energía geotérmica de la Tierra. Este ancestral conocimiento de las propiedades terapéuticas del agua termal y la gran cantidad de manifestaciones existentes en nuestro país motivó la apertura de numerosos centros termales. Otras tradicionales formas de uso, que marcan la relación de convivencia del hombre con la geotermia, es la calefacción de viviendas y los usos industriales vinculados con el lavado de lana.

Estas populares aplicaciones económicas, que no han requerido de programas de gobierno para su implementación, han tenido, y en especial la primera de ellas, una gran distribución en la Argentina debido precisamente a la amplia distribución areal de los campos termales de baja entalpía¹³.

En la década del setenta comienzan, en una forma orgánica, a estudiarse las áreas geotérmicas. En su inicio los objetivos de los estudios estuvieron estrictamente orientados a la generación de energía eléctrica. Pero el grado de avance en el conocimiento del recurso termal en estos últimos años en la Argentina, profundiza cada vez más las tendencias ya marcadas al inicio de la década del `90. La orientación señalada fue que las líneas de investigación y desarrollo de los campos termales de alta y baja entalpía debían orientarse a generar desarrollo a partir de la utilización directa del fluido termal.¹⁴.

Matriz energética y política energética

El desarrollo de un país depende en gran medida de la energía que sus recursos aportan al mismo, para poder llevar a cabo actividades productivas, de transporte, construcción y generación de energía eléctrica. Para atender estas cuestiones los países construyen su Matriz Energética. Pero ¿Qué es una matriz? Es una herramienta que permite ordenar datos haciendo uso de columnas y filas. Esta estructura facilita el trabajo de comparar y analizar diferentes variables de modo simultáneo. En una Matriz energética se establecen los diferentes recursos

13 Entalpía es una magnitud termodinámica que mide la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.

14 La geotermia y su importancia en el desarrollo de las economías regionales. <http://www.segemar.gov.ar/geotermia/pagina/intro.htm> Fecha de consulta: 18 de mayo de 2012

energéticos de los que dispone un país, indicando la importancia de cada uno de estos, de donde provienen y el modo en que se usan. Esta brinda la información necesaria de recursos energéticos históricos y existentes a quienes elaboran las políticas energéticas nacionales. En la actualidad, Argentina cuenta con una matriz sustentada casi integralmente en los combustibles fósiles.

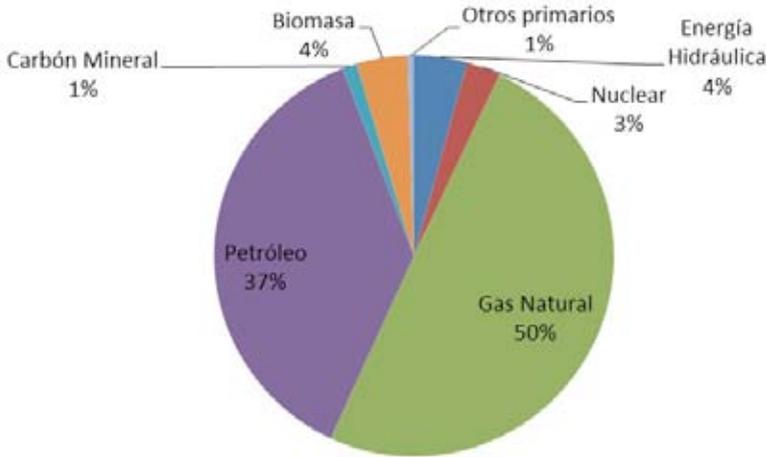


Figura 2.2. Oferta de energía primaria en 2010

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos de la Secretaría de Energía de la Nación

Hay medidas que son necesarias al momento de determinar nuestra Matriz Energética. Se debe pensar en la *diversificación* de los recursos energéticos, incorporando a los renovables, que como vimos podrían aportar un buen porcentaje por su disponibilidad. Por último, pero no menos importante, es sumar a esta matriz el *ahorro y eficiencia energética*. En todo el mundo se ha comprobado que “la fuente energética más disponible es la del ahorro”. En este sentido Argentina ha dado ya muestras de esta dinámica con programas nacionales como los implementados por la Secretaría de Energía. Pero a ello debe sumarse la sociedad y cada ciudadano que se plantee la eficiencia energética como un objetivo. El papel que la educación puede jugar en este sentido es muy importante al formar futuros ciudadanos con sentido de solidaridad colectiva, que entiendan que a través del ahorro de algunos sectores de la sociedad, otros tendrán derecho a satisfacer sus requerimientos energéticos básicos¹⁵.

15 Más información: <http://energia3.mecon.gov.ar> y www.enarsa.com.ar/

¿Cómo seguimos?

Ya vimos que la energía está en todas partes. Claro que la forma de aprovecharla, transformarla y utilizarla varía según sea el recurso que utilicemos. En lo que sigue desarrollaremos algunos de esos recursos: agua, viento, sol y biomasa.

Los capítulos 3, 4 y 5 llevan ese orden sólo para su ubicación espacial y porque el editor debía ordenarlos de alguna manera. Pero lo que sigue puede leerse según vos lo decidas. La elección de los recursos nombrados se debe a que encontramos para todos ellos un común denominador, en realidad, un vector. Y aunque parezca un trabalenguas matemático, no lo es pues estamos hablando *del vector energético hidrógeno*.

Agua, aire, sol y biomasa son recursos que te permitirán conocer su utilización en proyectos energéticos de baja escala, o sea, aquellos que pueden ser emplazados en tu pueblo, tu ciudad, cerca de la Capital Federal o en la región del país más alejada de ella.



CAPÍTULO III

El agua, un recurso energético renovable

Ebiana Marey

El agua es un elemento básico para la vida y un recurso que, a lo largo de la historia, ha determinado el desarrollo humano. Necesitamos agua para beber, agua para que se desarrolle la agricultura, agua para el aseo y hasta para algunos entretenimientos. A su vez, casi todos los procesos productivos requieren agua, ya sea para limpiar, enfriar, diluir, transportar y como receptora de desechos y residuos.

Por otra parte, en una cascada, un arroyo y en las propias Cataratas de Iguazú, el agua circula y cae porque gracias al desnivel del terreno puede convertir parte de la energía asociada a la altura (potencial gravitatoria) en energía cinética, de modo que cuando menos altura tiene el agua, más rápido se mueve. Desde tiempo inmemorial, los romanos fabricaron molinos y norias que funcionaban aprovechando la transformación de la energía del agua.

Pero recién a finales del siglo XIX el agua se contempla como un recurso para la producción de **energía eléctrica**. En las centrales hidráulicas se embalsa el agua y se la obliga a descender de manera controlada por conductos especialmente diseñados. La energía del agua se aprovecha para mover las turbinas y con este movimiento los generadores pueden producir energía eléctrica.

Cuando el agua no está embalsada y corre en un río o en un arroyo, ¿puede aprovecharse para generar electricidad? La respuesta es afirmativa y se lo consigue con los emprendimientos de *energía microhidráulica*, que contribuyen al desarrollo local no solo por la fuente de trabajo sino porque casi siempre se genera más energía de la que se consume y el sobrante puede venderse.

Las olas del mar nos suben y bajan cuando flotamos haciendo la plancha antes de la rompiente. También arrastran las tablas de barrenar y desgastan la roca de los acantilados. Las situaciones antedichas confirman que hay energía en el agua del mar. ¿Puede aprovecharse esa energía en la producción de electricidad? Por supuesto. Es la energía undimotriz. Para aprovechar la energía de los cursos de agua o de las olas del mar, son necesarios desarrollos tecnológicos y en muchos de ellos están comprometidos investigadores de nuestro país. Conocer un poco más sobre estas alternativas, no solo amplía nuestra mirada sino que también permite valorar los esfuerzos de los científicos e ingenieros comprometidos con ello.

El mar como recurso energético

El mar ofrece una serie de posibilidades para la generación de energía eléctrica. Una de las tecnologías está vinculada al aprovechamiento de los niveles de las mareas, denominada mareomotriz. Otras alternativas *en vías de estudio* se vinculan con el aprovechamiento de las corrientes marinas, la diferencia de temperatura entre el fondo y la superficie del océano, el calor la energía generada por la dilución del agua salada con el agua dulce en los estuarios y el aprovechamiento de la energía undimotriz, que es la energía que transportan las ondas y las olas marinas. No te preocupes, no leíste mal, dice ondas y olas marinas. ¿En qué se diferencian? Antes de la rompiente, las olas se comportan como ondas, ya que una onda es capaz de transmitir energía sin que haya desplazamiento neto de la materia. Las moléculas del agua transfieren energía a las moléculas vecinas, para lo cual se mueven, pero transmitida la energía, vuelven aproximadamente a las posiciones anteriores, por lo que el agua como un todo no se desplaza... “Un hecho importante en el concepto de onda es que puede haber propagación de energía sin que exista movimiento neto o global del medio.” (Rela, A. y Sztrajman, 2001, p. 221).

En una ola, las partículas avanzan. En cambio en una onda marina, las moléculas de agua en lugar de avanzar, experimentan un movimiento circular volviendo al mismo punto de partida una vez que la energía pasó. Se trata de un vaivén con una componente vertical, de arriba a abajo, y otra longitudinal, en la dirección de propagación de la energía de la onda. Podemos percibir el movimiento circular de una onda marina cuando flotamos en el mar “haciendo la plancha” antes de la rompiente. Nuestro cuerpo sube y baja y en momentos se adelanta y en otros se atrasa, de modo que a lo largo del tiempo permanece casi inmóvil en el lugar.

La persona describe un movimiento circular mientras la energía de la onda pasa por ella, tal como les sucede a las moléculas del agua. Cuando la energía se propaga como onda, tiene mucho alcance, porque no se aprovecha para desplazar la materia.

Como la energía de una onda marina necesita un medio material para propagarse, se la suele llamar onda mecánica.

Una onda marina, tiene asociados dos movimientos. El primero es la oscilación del medio por el que se transmite la onda, es decir el movimiento circular de cada molécula de agua. El segundo es la propagación de la energía de la onda, que se produce en línea recta con una velocidad determinada.

El movimiento de la onda se mide con la velocidad con que avanza la energía. La energía que transportan las ondas marinas puede llegar a regiones muy lejanas y a veces es muchísima. “El caso extremo que ejemplifica este fenómeno son las olas gigantes (tsunami) que viajan miles de kilómetros muy lejos del lugar donde fueron generadas”. (Pelissero y otros, 2011, p. 6).

En cambio, después de la rompiente, el agua de la ola arrastra. Se lleva la tabla de barrenar o al surfista hacia la costa. En este caso, la ola no se está comportando como una onda.

La energía undimotriz, aprovecha tanto la energía que se transmite por el agua mediante las ondas marinas como la de las olas del mar para generar energía eléctrica en forma sustentable. El mayor aprovechamiento de la energía undimotriz se da en zonas poco profundas. En Argentina, parafraseando a Pelissero y otros, puede decirse que la costa patagónica presenta un escenario óptimo de trabajo porque la poca profundidad del lecho marino, aún lejos de la costa, facilita la instalación de equipos y dispositivos.

A diferencia de la variabilidad e intermitencia características de muchas de las energías renovables, la energía undimotriz posee una marcada persistencia durante la mayor parte del año. Esto redundaría en el funcionamiento permanente de los equipos que transforman esta energía.

Para aprovechar la energía de las ondas y olas marinas existen novedosas e interesantes experiencias en varios países del mundo con zonas costeras. Si bien la mayoría de los dispositivos se encuentran en fase experimental, todos utilizan generadores que transforman la energía de las ondas y olas marinas.

La primera central undimotriz está en la fase pre-comercial. Se puso en marcha el 8 de julio de 2011 en Mutriku, a cincuenta kilómetros de San Sebastián, en España. Ha sido promovida por el gobierno vasco y es, según el Ente Vasco de la Energía, “un referente mundial que abre las puertas a nuevos desarrollos marinos

y a la creación de un nuevo sector productivo generador de riqueza y empleo.”

Para generar electricidad debe existir un movimiento relativo entre los imanes del generador y los cables que transmitirán la energía eléctrica. “En un motor, la energía eléctrica es la entrada y la energía mecánica la salida; en un generador la energía mecánica es la entrada y la energía eléctrica la salida. Ambos dispositivos transforman la energía de una clase en otra.” (Hewitt, 2007, p. 480)

¿Cómo funciona un generador?

*El proceso de transformación de energía mecánica en energía eléctrica, puede mencionarse, y no desarrollarse, dejándolo como una **caja negra**. Esto significa que se analiza lo que entra al sistema y lo que sale del mismo, pero no se profundiza cómo ni por qué suceden las transformaciones internas que convierten lo que entró en lo que salió del sistema.*

*Si se decidiera, **abrir la caja negra del generador**, deberá encontrarse el movimiento relativo entre los imanes del generador y los cables que transmitirán la energía eléctrica. Según explica la ley de inducción magnética de Faraday, cuando un imán se mueve en las cercanías de un conductor, se induce una fuerza electromotriz en el mismo y si el conductor está incorporado a un circuito cerrado, se percibirá en el mismo una corriente eléctrica que puede detectarse con un galvanómetro o medirse con un amperímetro.*

Para evaluar el movimiento relativo entre los cables y los imanes y percibir la aparición de la energía eléctrica, pueden aprovecharse recursos informáticos multimediales publicados en la web que presenten simulaciones porque las mismas ayudan a la comprensión puesto que “proporcionan una representación dinámica del funcionamiento de un sistema determinado, (...) ya que permiten visualizar el desarrollo de procesos simples o complejos, mostrando la evolución del sistema representado y la interacción entre los diversos elementos que lo integran o al menos algunas consecuencias de tales interacciones.” (Pontes Pedrejas, 1999, p. 56)

Para abrir la caja negra de un generador se sugieren tres simulaciones que ponen en evidencia que la generación de energía eléctrica no solo depende del movimiento relativo entre cables e imanes, sino que también está condicionada por la rapidez con la que sucede ese movimiento relativo.

Un generador lineal: <http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/faraday2/>

Un generador circular: http://www.walter-fendt.de/ph14s/generador_s.htm

Dinamo de bicicleta: <http://www.gener.cl/Amigosdelaenergia/aesgener.htm>

Para aprovechar la energía undimotriz, los dispositivos capturan agua que después dejan circular o la energía de las ondas marinas pone en movimiento las turbinas y se induce la generación de energía eléctrica.

Entre los que capturan agua, están los de **rebalse** y los que tienen **atenuadores**. Mientras que aprovechando las ondas marinas figuran los **absorbedores puntuales** y los de **columna de agua oscilante**.

Dispositivos que capturan agua

- **Mediante rebalse.** Son dispositivos anclados en aguas relativamente profundas, que aprovechan las olas marinas antes de llegar al área costera. Cuentan con una rampa para recibir las olas y cuando el oleaje sobrepasa cierta altura, el agua se acumula en un depósito que es una especie de balsa, apareciendo una diferencia entre el nivel del mar y la superficie del agua en el embalse. Cuando el agua se libera hacia abajo, en el camino mueve las turbinas y los generadores producen energía eléctrica. El sistema es similar al de las plantas de energía hidroeléctrica.

Como lo único móvil son las turbinas, puede operarse desde la costa. Son instalaciones que a priori ocupan bastante espacio y en las que el rebase sólo se puede evitar con diques de gran altura.

El primer prototipo de un convertidor de energía undimotriz mediante rebalse situado en el mar en todo el mundo se llama *Wave Dragon* (“Dragón de las olas” en inglés) y está en uso en las costas danesas desde el 2004. El tamaño del prototipo es cuatro veces inferior al del sistema real diseñado.
- **Mediante atenuadores.** Son dispositivos armados en módulos, en los que hay dos o más tanques a alturas diferentes, comunicados entre sí mediante una cañería que incorpora una turbina.

Se aprovecha el movimiento del oleaje oceánico, para producir electricidad. Las crestas de las olas introducen agua en el tanque superior, que pasa, por acción de la fuerza de gravedad, a través de los álabes de la turbina, al tanque inferior. Un sistema de válvulas es el encargado de permitir la entrada de agua en el tanque superior y la salida de la misma por el inferior. Generadores eléctricos, mecánicamente conectados a las turbinas, son los encargados de producir electricidad.

El dispositivo se fija al fondo del mar en zonas de poca profundidad y la energía producida en cada sección se transporta mediante un cable a una base situada en el lecho oceánico. Varios elementos se pueden interconectar a una misma

base para sumar potencia de generación y transmitir la energía mediante un solo cable submarino hacia la costa. Se estima que la cantidad de energía obtenida por 30 de estos sistemas, podría abastecer aproximadamente 20.000 hogares con un consumo medio.

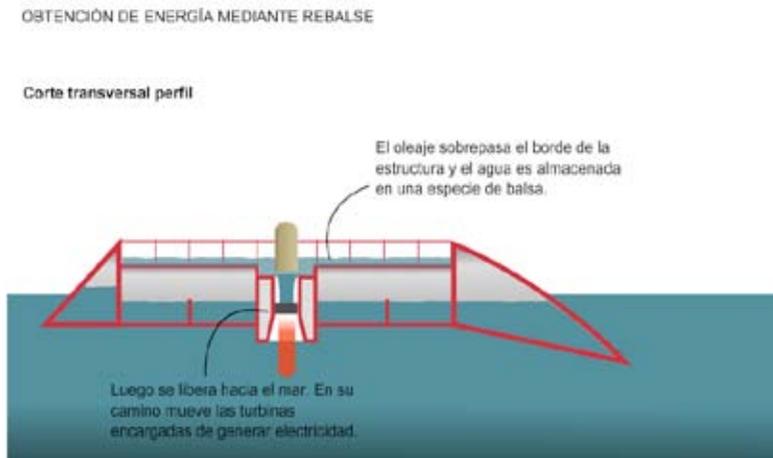
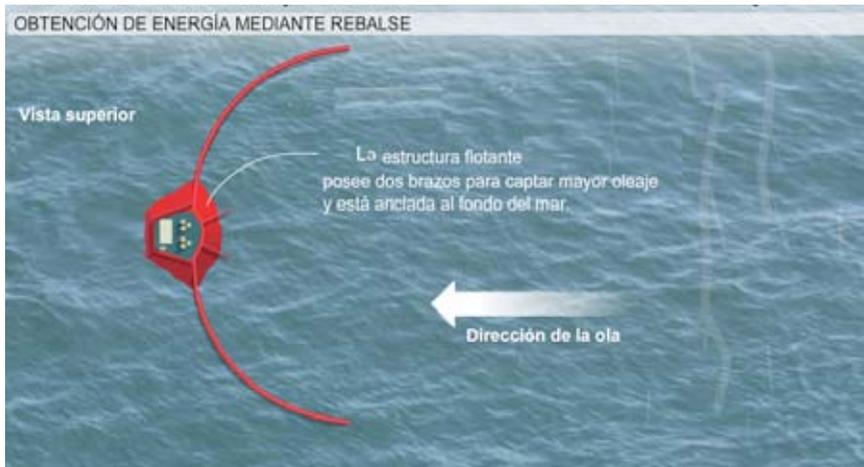
Dispositivos que aprovechan las crestas y los valles de las ondas marinas

- **Absorbedores de punto.** “Son en general flotadores que aprovechan el desplazamiento vertical entre un punto fijo (fondo del mar o anclaje flotante) y un flotador” (Sánchez Sudón et al, 2008, p. 75) cuando pasa la cresta y el valle de la onda. Es decir que con el paso de la onda, los flotadores suben y bajan y el movimiento se aprovecha para la obtención de energía. Sobre una cámara cerrada, fabricada generalmente de hormigón, hay una boya rígida de acero, que flota en el mar y se mueve de arriba hacia abajo siguiendo el paso de las ondas marinas. Cuando la boya sube y baja, el aire en el interior de la cámara se comprime y descomprime. Las variaciones de presión producen la circulación del aire que se encuentra encerrado en la cámara. El aire mueve las turbinas y se activan los generadores de electricidad. La energía es transmitida a tierra por un cable submarino. La ventaja es que el movimiento de las turbinas no es por el agua del mar, pues nunca entra en contacto con ellas, sino por las corrientes de aire que aparecen por las variaciones de presión en la cámara al subir y bajar la boya flotante.
- **Columna de agua oscilante.** Esta tecnología denominada columna de agua oscilante de efecto Arquímedes, “utiliza la presión y el vacío generados por la entrada y salida del agua en una cavidad o tubo” (Sánchez Sudón et al, 2008, p. 76) para mover una turbina y generar energía eléctrica.

Cuentan con una estructura hueca, parcialmente o totalmente sumergida, que está abierta al mar por su parte inferior. La estructura encierra una columna de aire sobre una columna de agua. Las olas que entran y salen de la estructura hueca hacen subir y bajar la columna de agua, con lo cual la columna de aire situada arriba, se comprime y descomprime alternativamente. El aire atrapado sobre la columna de agua, fluye hacia arriba y abajo a través de los álabes de la turbina, moviéndola y permitiendo generar electricidad. Las turbinas generalmen-

te utilizadas son las denominadas turbinas Wells, que tienen la propiedad de rotar en el mismo sentido independientemente del sentido en que pase el aire por sus álabes.

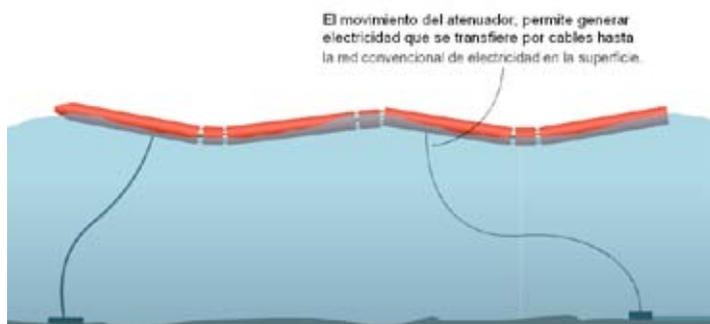
Es una de las tecnologías más modernas para la obtención de energía con la ventaja de que como el agua de mar no está en contacto con los elementos electro-mecánicos de la instalación, se retarda la corrosión de las partes componentes. A su vez, en algunos diseños, las estructuras huecas de hormigón están sumergidas entre los 40 y 100 metros bajo el nivel del mar evitándose también la exposición a las condiciones meteorológicas adversas. En todos los casos, la electricidad generada es transportada a la superficie mediante un cable submarino.



ENERGÍA: CARACTERÍSTICAS Y CONTEXTO

OBTENCIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE UN ATENUADOR

Vista perfil



OBTENCIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE ABSORBEDOR DE PUNTO

Un ejemplo de esta tecnología es el Powerbuoy. Este sistema se está utilizando en varias zonas de España.



OBTENCIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE EL EFECTO ARQUÍMEDES

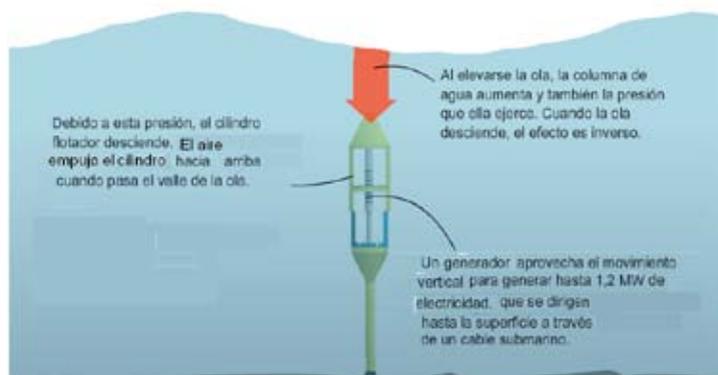




Figura 3.1. Dispositivos utilizados para obtener energía de las ondas y olas marinas.

Fuente http://www.frba.utn.edu.ar/sectip/proyecciones/pdf/V9_2.pdf (p. 14) y adaptaciones realizadas a las imágenes de la animación Flash en http://www.accion-so.com/images_home/infografias%20Energia%20undimotriz.swf

En síntesis puede decirse que para la generación de electricidad a partir de las ondas y olas marinas existen varios dispositivos: **rebosantes**, con **atenuadores** y de **columna de agua-aire**.¹

En los **rebosantes**, hay una rampa para recibir las olas. El agua se acumula y luego se aprovecha para mover las turbinas como en una central hidroeléctrica. Son instalaciones que a priori ocupan bastante espacio y necesitan diques de gran altura para acumular el agua. En los dispositivos con **atenuadores**, como el agua de uno de los flotadores pasa al que está menos elevado para mover la turbina y activar un generador, gran parte de la maquinaria está expuesta al agua del mar.

Los dispositivos de **columna de agua-aire**, en cambio, aprovechan el movimiento oscilante de las olas para comprimir y descomprimir el aire que es el que mueve las turbinas. El hecho de mover las turbinas con aire y no con agua de mar supone en principio una clara ventaja en cuanto a la longevidad de los equipos.

¹ Si bien hay una falta de ortografía en el vocablo absorbedor, al describir el dispositivo: "Obtención de energía mediante absorbedor de punto" (sic), se recomienda la animación disponible en: http://www.accion-solar.org/images_home/infografias%20Energia%20undimotriz.swf (Fecha de consulta: 23 de junio de 2012)

¿Y por casa cómo andamos?

El trabajo “Aprovechamiento de la Energía Undimotriz” de la Facultad Regional Buenos Aires dependiente de Universidad Tecnológica Nacional (UTN) fue premiado en el primer lugar de la Categoría Concepto Innovador del Concurso INNOVAR 2010.

El objetivo es desarrollar una tecnología viable, económicamente factible y con bajo impacto ambiental transformando la energía undimotriz en energía eléctrica mediante un dispositivo electromecánico, sin verter productos gaseosos ni líquidos al medio ambiente, que a la vez sirva como modelo de estudio en el ámbito académico universitario.

El diseño básico, es muy simple: consta de un cuerpo donde se aloja un sistema electromecánico unido a dos brazos de palanca que en el extremo tienen adosados, cada uno, una boya. Las boyas suben y bajan con la llegada de las ondas y olas marinas y el movimiento se trasmite por medio de los brazos de palanca al sistema electromecánico donde se genera la energía eléctrica.

El principal desafío que se presenta es que el dispositivo se adapte a cualquier tipo de ola y marea porque el movimiento del mar bajo la acción del viento es muy variable y carece de un patrón definido en altura e intensidad.

En estos momentos (año 2012) el grupo está tanto abocado al diseño del prototipo como a la evaluación de las características del generador eléctrico más conveniente. Los aspectos de estanqueidad del dispositivo y durabilidad de los materiales son aspectos de especial cuidado en un ambiente de trabajo donde las exigencias mecánicas son extremas y los efectos de la corrosión son devastadores. Se están realizando evaluaciones en torno a qué materiales utilizar para la fabricación del dispositivo, cómo se protegerá de la corrosión, las construcciones a realizar en el lecho marino y también cuestiones de impacto ambiental.

Este proyecto busca crear parques de generación de electricidad que satisfagan las necesidades de comunidades que estén alejadas del sistema interconectado de provisión de energía eléctrica. El prototipo experimental se evaluará en la costa de la ciudad de Mar del Plata, porque el promedio de ondas es de 1,2 metros y el campo de trabajo cuenta con una profundidad que va de los 5 a 10 metros. A su vez, este sitio resulta conveniente no solo por la proximidad a la ciudad de Buenos Aires sino también por la logística que puede brindar tanto la Universidad Nacional de Mar del Plata como la delegación de la Universidad Tecnológica Nacional.

Por otra parte, el grupo de trabajo del área oceanográfica ha determinado que el área patagónica, especialmente en las provincias de Chubut y Santa Cruz, presenta diversos sitios donde este aprovechamiento tendría las mejores condiciones de trabajo.

En Argentina, “la ausencia de proyectos vinculados al aprovechamiento de la energía undimotriz nos brinda una excelente oportunidad para demostrar nuestra capacidad para la generación de una propuesta original e innovadora acorde a nuestra realidad. Para ello contamos con el apoyo de numerosos profesionales de las distintas especialidades como así también de las autoridades de nuestra facultad”. (Pelissero y otros, 2011, p. 17).

¿Por qué aún no se explota comercialmente la energía undimotriz?

Si bien la tecnología undimotriz presenta incluso más ventajas que otras energías renovables, ya que se trata de una energía inagotable, constante y predecible, su utilización se circunscribe a zonas costeras o próximas a la costa, por lo costoso que sería transportar la energía obtenida a lugares del interior.

Asimismo, para la explotación comercial de las instalaciones undimotrices es necesario un mayor desarrollo tecnológico que optimice los diseños y reduzca los costos, pues hoy el kilowatt-hora undimotriz cuesta el triple que el térmico de combustibles fósiles, y cinco veces más que la misma energía de origen nuclear.

La energía hidráulica

Desde la antigüedad, se sabía que la energía del agua que fluye desde un nivel superior a otro inferior puede transformarse. Pero esta transformación no se aprovechaba porque por ejemplo, la extracción del agua y la molienda la llevaban a cabo los esclavos y los animales de tiro.

Por otra parte, durante la Revolución Industrial en Inglaterra como el carbón era insuficiente y la madera poco aprovechable como combustible en las máquinas de vapor, la energía del agua movía ruedas y molinos que se usaban tanto para construir máquinas como para mover las de las industrias textil y del cuero. El renacimiento de la energía hidráulica aparece de la mano del desarrollo del *generador eléctrico*. La primera central hidroeléctrica del mundo se puso en funcionamiento el 30 de septiembre de 1882. El desarrollo de la turbina hidráulica y

el aumento de la demanda de electricidad en todo el mundo a principios del siglo XX, impulsaron el perfeccionamiento de esta tecnología que poco cambió desde entonces.

La transformación de la energía del agua en energía eléctrica, es la esencia de la energía hidroeléctrica o hidráulica y el conjunto de instalaciones e infraestructura para aprovechar este potencial se denomina central hidroeléctrica. Las centrales hidroeléctricas dependen de un gran embalse de agua contenido por una represa. El agua circula aguas abajo, transformando su energía potencial gravitatoria en cinética. En el camino, pasa por las turbinas, y el movimiento rotacional de las mismas se aprovecha para la generación de electricidad.

Las represas, los canales de derivación, las turbinas y los generadores para la producción de electricidad suponen la inversión de grandes sumas de dinero. Como es una fuente de energía renovable y relativamente amigable con el medioambiente es tenida en cuenta como alternativa ecológica.

Aspectos negativos de la energía hidroeléctrica.

Si bien la energía hidroeléctrica es limpia, porque en su explotación no se producen sustancias contaminantes de ningún tipo, el impacto ambiental de las grandes represas, por la severa alteración del paisaje e incluso por la inducción de un microclima diferenciado en su emplazamiento, desmerece la bondad ecológica. Por otra parte, la infraestructura puede afectar la biodiversidad de la zona, reducir los caudales de los ríos aguas abajo, dificultar el paso de peces, acumular sedimentos y residuos, contaminar e incluso permitir la eutrofización del agua durante la operación de las centrales (Un río, un lago o un embalse sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes. Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén repletas de nutrientes, porque así podrían vivir mejor los seres vivos. Pero la situación no es tan sencilla. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Más tarde, cuando mueren, se pudren y disminuye drásticamente su calidad. El proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. El resultado final es un ecosistema casi destruido).

La microhidráulica es otra opción

El desarrollo, tanto de turbinas y generadores como de sistemas de control y regulación, ha hecho posible que con pequeños desniveles e incluso ínfimos caudales de agua se pueda producir energía eléctrica. Estas instalaciones se denominan de *agua fluente, de agua fluyente o de agua corriente*, y a las centrales que transforman la energía de circulación del agua se las conoce como *microhidráulicas*². Estas centrales no requieren de grandes embalses o reservorios para almacenar agua sino que aprovechan de manera directa la energía cinética disponible en los cursos de agua³.

Las microcentrales hidroeléctricas requieren en general poco caudal de agua para funcionar y la topografía del terreno determina las características de la obra civil, que en general tiene poco impacto ambiental.

Si bien en algunos proyectos se debe realizar la obra civil desde cero, existe la posibilidad de aprovechar canalizaciones de riego o de agua potable e infraestructuras hidroeléctricas existentes o en desuso, reduciéndose considerablemente los costos de instalación.

Aprovechamiento de una infraestructura hidroeléctrica en Neuquén

El INTI está colaborando con la Cooperativa Eléctrica de Zapala en la rehabilitación de una central hidroeléctrica abandonada en la zona del arroyo Covunco, a unos 20 km de la localidad de Zapala. El objetivo es producir energía para la zona de influencia de la localidad de Mariano Moreno, lo que también interesa a los productores de Mallín del Muerto, área aledaña de reciente desarrollo y con retraso en los servicios. La maquinaria será toda nueva, pero se aprovechará la obra civil existente –fue construida por la empresa estatal Agua y Energía en los años 40 y se desguazó en 1991. Aún con las cuestiones económicas por resolver, el ingeniero Juan Carlos Najul, responsable de Energías Renovables y coordinador del INTI para la Región Cuyo afirma: “Estamos en pleno desarrollo de la propuesta para la recuperación de esta mini central, que a su vez esperamos nos dé un bagaje de conocimientos que podrán ser extendidos a otras similares.”⁴

2 Mini-hidráulica es el término con el que la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, denomina a las centrales hidroeléctricas de potencia inferior a 10 MW. Dentro de la mini-hidráulica, puede realizarse esta clasificación: pico centrales: Potencia < 5 kW; micro centrales: P< 100 kW; mini centrales: P < 1.000 kW y pequeñas centrales: P < 10.000 kW (Molina P., Jaime G., 2004, p. 5)

3 Sitio recomendado para profundizar sobre el tema: <http://educasitios2008.educ.ar/aula42/category/la-energia-del-agua/> (16 de abril de 2012)

4 Fuente: <http://www.inti.gob.ar/e-renova/erHA/erO2.php> Fecha de consulta: 22 de junio de 2012

¿Qué tipo centrales microhidráulicas existen?

Hay tres tipos de centrales que sirven para aprovechar la energía del agua que circula:

1. **de aguas fluyentes ubicadas en un río:** Mediante un conducto especialmente construido, se desvía una parte del caudal del río hacia la microcentral hidroeléctrica para su aprovechamiento. Después de mover las turbinas el agua es devuelta al cauce del río.

IYARA, una empresa que desarrolla, aplica y promueve tecnologías apropiadas y apropiables para comunidades postergadas, aisladas o de bajos recursos desarrolló una microturbina, emplazada sobre una plataforma de 3 m de lado que aprovecha el amplio caudal y la baja velocidad del río Paraná, y genera energía sostenible para los isleños.⁵

2. **de canal de riego con desnivel en el propio canal:** Una tubería, conduce el agua a la microcentral, devolviéndola posteriormente al curso normal del canal.

Según la presentación *En el sendero de la eficiencia energética* realizada 11 de noviembre de 2011 en las Jornadas de la BIEL Light+Building⁶ el gobierno de la provincia de San Juan tiene como *meta proyectar y buscar financiamiento para instalar centrales microhidráulicas en algunos canales del sur-centro de la provincia de San Juan*, con un potencial total de 20 MW.

3. **con desnivel existente entre un canal de riego y el curso de un río cercano:** En este caso se aprovechan las aguas excedentes del canal para mover las turbinas. Después de pasar por las turbinas, el agua se conduce al río.

A la hora de proyectar una microcentral, tanto el caudal como la altura del salto determinarán tanto la potencia a instalar como el tipo de turbina y generador más apropiados.

5 Video recomendado: <http://www.youtube.com/watch?v=asAfvTQFCRI> (Fecha de consulta: 22 de junio de 2012)

6 Proyecto Solar San Juan en http://www.biel.com.ar/Congreso_Presentaciones/Proyecto%20Gobierno%20San%20Juan.pdf [Fecha de consulta: 23 de abril de 2012]

Turbina Pelton

Lester Allan Pelton (1829 -1908) fue uno de los más importantes inventores de finales del siglo XIX y principios del siglo XX e ideó unas turbinas que llevan como nombre su apellido. Las turbinas Pelton⁷ son muy utilizadas por su excelente adaptabilidad a condiciones de caída vertical y bajo caudal. Constan de una rueda (rotor) con una serie de cucharas en la periferia. Los chorros de agua impactan sobre las cucharas, y producen la rotación de la rueda que induce la generación de electricidad.

En los últimos años han ido apareciendo equipamientos que permiten aprovechar una gama muy variada de caudales y alturas, lo que ha convertido a la microhidráulica en una fuente de energía competitiva entre las energías renovables. Un interesante producto es la PowerPal, “una novedosa microturbina de fabricación vietnamita que es un auténtico logro de diseño compacto, fácil de instalar y con unas exigencias mínimas. Genera directamente corriente alterna a 220 V, con lo que no requiere ni convertidores ni acumuladores”. (Soria, 2007, p. 10)

Las centrales microhidráulicas conllevan una reactivación económica en zonas usualmente deprimidas y olvidadas, tanto por la generación de empleo como por los beneficios directos de la producción de energía. Como se diseñan generalmente con proyección de un mínimo de 20 años, para la máxima demanda y para operar las 24 horas del día, las elevadas cotas energéticas que llegan a producirse, si se comparan con similares inversiones económicas en otras fuentes de energía renovable.

Por otra parte, como las microcentrales usualmente se ubican en poblados rurales, donde normalmente la electricidad se usa con fines domésticos, servicios locales (molienda de granos, soldadura, carpintería, cargado de baterías, etc.) y alumbrado público, por lo tanto durante varias horas del día, se genera mucha más energía que la demandada. ¿Qué hacer con la energía sobrante? Aparece una excelente oportunidad para contribuir con el desarrollo del poblado, ya que puede venderse el excedente. La única condición es que la microcentral esté conectada a la red de distribución eléctrica.

7 Más información en <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica25-turbinas%20pelton.pdf>

¿Por qué apostar a la microhidráulica?

El impacto ambiental de la energía hidroeléctrica se asocia principalmente con los embalses necesarios para la acumulación de agua. La microhidráulica, en cambio no afecta al medio ambiente, pues el agua no se embalsa, solo se encauza hacia la turbina parte del flujo de agua, mientras el resto, circula sin interrupciones. No se altera el paisaje ni el clima, no disminuye el caudal de los ríos, no se acumulan sedimentos, y además las especies de peces que desovan aguas abajo no se ven afectadas, como ocurre con la represas al no existir barreras imposibles de sortear.

A su vez, los beneficios derivados de los proyectos de generación microhidráulicos son considerables⁸: Contribuyen al desarrollo sustentable del territorio en el que se implantan; son económicamente competitivos porque con un impacto medioambiental bajo aprovechan energía renovable; proporcionan energía eléctrica a zonas que de no ser así estarían aisladas o alcanzables sólo con obras de mayor impacto medioambiental; permiten realizar una política de distribución de la producción de energía eléctrica; utilizan el recurso del agua de manera equilibrada y controlada por las comunidades interesadas; ayudan a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles y como durante la generación de electricidad no aparecen emisiones contaminantes permitiría a muchos países avanzar hacia el cumplimiento de los objetivos del *Protocolo de Kioto*, así como conseguir mejores condiciones atmosféricas para una mejor calidad de vida de los ciudadanos.

Hidrógeno... ¿presente o futuro?

“Hidrógeno dos, oxígeno 1” es la fórmula química del agua, e informa los elementos químicos y la cantidad de átomos que conforman al agua. Teniendo en cuenta que H representa al elemento hidrógeno y O al oxígeno, se entiende que cada mol de agua tiene el doble de átomos de hidrógeno que de oxígeno.

8 Fuente: http://www.eedsa.com/energias-renovables-servicios_minihidraulica.html [Fecha de consulta: 23 de abril de 2012]

¿Qué es un mol?

Es la cantidad de materia que contiene $6,02 \times 10^{23}$ partículas elementales (ya sea átomos, moléculas, iones, partículas subatómicas, etcétera). En el caso del agua, un mol tiene $6,02 \times 10^{23}$ átomos de oxígeno y el doble de átomos de hidrógeno. Este número tan impresionante de partículas, 602.000. 000.000. 000.000. 000.000 o bien 602.000 trillones, se llama Número de Avogadro.

Si se rompen las moléculas de agua, se obtienen átomos de hidrógeno y de oxígeno. Dos átomos de hidrógeno pueden recombinarse para conformar el hidrógeno molecular o dihidrógeno (H_2), que extraído del agua o alternativamente de la biomasa e hidrocarburos, es un portador de energía que puede usarse como combustible reemplazando el que proviene de los combustibles fósiles. Hay muchas expectativas sobre la energía proveniente del dihidrógeno, popularmente denominada como “energía del hidrógeno”, sobre todo porque puede ser almacenado, transportado y porque su uso como combustible no daña el medioambiente.

¿Hidrógeno o dihidrógeno?

Cuando hablemos de hidrógeno nos referiremos al dihidrógeno y no al elemento hidrógeno. Así como cuando decimos auto, sobrentendemos que se trata de un automóvil, que plata, es el dinero y no el metal o que curita es el apósito.

En definitiva, no solo podemos aprovechar la energía de las olas del mar y el movimiento de los cursos agua sino también descomponerla químicamente para obtener hidrógeno (H_2) que, como combustible, puede usarse donde y cuando haga falta. Finalizando este capítulo se introducen las nociones elementales sobre el hidrógeno como combustible...

“Las preocupaciones sobre el cambio climático global y la degradación medioambiental resultante del uso de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía, junto con las inquietudes sobre la seguridad en el suministro energético, han llevado a muchos analistas a proponer al hidrógeno como por-

tador universal de energía para el futuro.” (González García-Conde, 2008, p. 1).

Las proyecciones en relación al hidrógeno exigen que el mismo se obtenga de manera rentable, sin dañar el medioambiente y que la sociedad de consumo comience a utilizar las pilas de combustible de hidrógeno. “El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, pero en nuestro planeta no existe en estado puro: está casi siempre combinado con carbono (en diversas moléculas orgánicas) o con oxígeno (como en el agua)” (Laborde et al, 2006, página 1)⁹

“Los que en el mundo abogan por el hidrógeno indican que, si se alcanzan estas expectativas, una “economía del hidrógeno” beneficiará al mundo proporcionando una mayor seguridad energética porque, se diversificarán las fuentes de energía, y una mayor calidad medioambiental porque se reducirán significativamente las emisiones locales y globales. Asimismo, con el hidrógeno se potenciará el uso de las fuentes renovables de energía. Sin embargo, alcanzar este objetivo requiere superar muchos desafíos técnicos, sociales y políticos, siendo quizás los últimos de más relevancia que el primero.” (González García-Conde, 2008, p. 94)

¿El hidrógeno es un recurso energético?

No, no lo es. Hay que obtenerlo mediante diferentes tecnologías. Al hidrógeno obtenido se lo considera un vector energético, un portador de energía.

Al considerar el hidrógeno como vector energético, se entiende que las moléculas del hidrógeno portan la energía en sus enlaces químicos. Esa energía se liberará cuando el hidrógeno se utilice como combustible.

Dentro del campo de la salud, la transmisión o propagación de un agente patógeno (virus, bacterias, parásitos, etc.) puede ocurrir por vía directa o indirecta. Es indirecta, cuando la transferencia es a través de un intermediario que puede ser: un **vehículo**: objeto contaminado: agujas, alimentos, agua, juguetes) o un **vector**: animales como moscas, mosquitos, ratas u otros mamíferos. Por ejemplo, la vinchuca es el vector del Mal de Chagas, el mosquito *Aedes aegypti* es el del dengue, los ratones colilargos del Hantavirus. Los vectores **no** producen la enfermedad, actúan como un puente, llevando al agente patógeno. Del mismo un vector energético, no produce la energía, sino que la porta y la transferirá cuando se lo utilice como combustible.

9 Disponible es http://www.agencia.mincyt.gov.ar/IMG/pdf/casoagencia_energiasincontaminar.pdf (28 de mayo de 2012)

¿Por qué hidrógeno?

El hidrógeno es capaz de proporcionar más energía por unidad de masa que cualquier otro combustible conocido: 33,3 kWh por kg, frente a los 13,9 kWh del gas natural o los 12,4 kWh del petróleo, por ejemplo.

A su vez, tiene muchas aplicaciones posibles. "Puede ser usado en remplazo de los combustibles fósiles para prácticamente todos los propósitos, como un combustible para transporte en superficie o en aire, como un combustible para producir calor, y aún como un combustible para la producción directa de electricidad, con "pilas" de combustible (fuel cells) y también indirecta, mediante generadores accionados por turbinas de gas o de vapor." (Nejat Veziroglu, 2002, p. 6).

Se trata de un combustible limpio pues cuando se quema, libera energía y produce vapor de agua, evitándose las emisiones de CO₂, el principal gas de efecto invernadero. Por este hecho, multitud de asociaciones ecologistas defienden el empleo del hidrógeno. Sin embargo, el hidrógeno sólo puede ser considerado limpio si proviene a su vez de fuentes de energía limpias.

¿Cómo se obtiene el hidrógeno?

Existen varios caminos:

1. Desde el siglo XIX el hombre sabe cómo separar el hidrógeno y el oxígeno del agua aplicando una corriente eléctrica. El proceso se llama **electrólisis**¹⁰. Si bien la electrólisis, es un proceso limpio y produce un hidrógeno de gran pureza requiere un aporte considerable de electricidad y por otra parte, para realizarla, el agua debe tener una buena conductividad eléctrica, que está condicionada por la cantidad de sales disueltas. "Argentina tiene condiciones inmejorables para obtener hidrógeno por electrólisis del agua, utilizando energía eléctrica proveniente de fuentes renovables como la eólica. De esta manera, se consigue una mayor eficiencia energética en el proceso, el impacto ambiental es ínfimo, y los costos de producción del hidrógeno son más competitivos, constituyéndose la asociación `Energía Eólica + Hi-

¹⁰ Este proceso se realiza sumergiendo dos electrodos en agua, (normalmente con una pequeña cantidad de ácido o una sustancia iónica para facilitar la reacción) y conectando un electrodo al terminal positivo y el otro al negativo. Al circular corriente continua por ambos electrodos, en el terminal positivo (ánodo) se desprende oxígeno, y en el negativo (cátodo) el preciado hidrógeno. *Video recomendado*
http://www.youtube.com/watch?v=sE5qbph29zM&feature=player_embedded (4 de abril de 2012)

drógeno' en un importante instrumento estratégico para el futuro del país". (Giralt y Alva, 2008, p. 25)

2. Otra alternativa es la **fitólisis** del agua. Consiste en la disociación del agua en hidrógeno y oxígeno directamente utilizando la energía solar. Aún no es posible realizar la fitólisis artificialmente, pero se han descubierto algas y microorganismos que la realizan de manera natural, y que podrían ser utilizadas para este fin en el futuro. Esta tecnología se denomina **fitobiológica**.
3. Otro camino es la **hidrólisis térmica**. La ruptura de la molécula del agua se produce a unos 3000 °C. A esta temperatura, un 10 % del agua se descompone y el 90 % se recicla.
4. También puede aprovecharse la **ruptura termoquímica** del agua mediante una serie de reacciones químicas controladas. En este proceso la energía intercambiada por calor se usa únicamente para descomponer el agua. Se trata de un procedimiento similar al de la electrólisis, pero intercambiando energía por calor y no energía eléctrica.
5. El hidrógeno puede obtenerse **a partir de hidrocarburos**, fundamentalmente del gas natural. Como el componente principal del gas natural es el metano (CH_4), se le añade agua y tras diversas variaciones en la temperatura y en la presión, se obtiene hidrógeno. Sin embargo, con este método se libera dióxido de carbono (CO_2). A pesar de los procesos de purificación que se pueden realizar, el máximo de pureza obtenido para el hidrógeno es 99,7 %.
6. Asimismo puede obtenerse hidrógeno **a partir de la biomasa**. Existen dos alternativas: Sometiendo a la biomasa a un proceso de *combustión incompleta* a temperaturas entre los 700 °C y los 1.200 °C. El producto resultante es un gas combustible compuesto fundamentalmente por hidrógeno, metano y monóxido de carbono o bien mediante *pirólisis* que es la combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, a unos 500 °C. De esta combustión se obtiene carbón vegetal y una mezcla de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos ligeros. No existen aún plantas comerciales que produzcan hidrógeno a partir de biomasa.

Obtención de hidrógeno del alcohol vegetal

La Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica está financiando un proyecto que estudia una alternativa para producir hidrógeno de uso vehicular, a partir de alcohol vegetal, libre de emisión de “gases de efecto invernadero”. Dicho proceso es el tema de investigación de los Doctores Miguel Laborde y Norma Amadeo, a cargo del Laboratorio de Procesos Catalíticos, junto con la colaboración del grupo del Doctor Pío Aguirre del INGAR (Instituto de Desarrollo y Diseño).¹¹

Si bien la generación del llamado “hidrógeno verde”, a partir del alcohol, produce emisiones de carbono, lo hace sin añadir carbono fósil a la atmósfera: usa el que ya estaba circulando por la biosfera, bajo forma de plantas.

Asimismo, las investigaciones del Laboratorio de Procesos Catalíticos pueden aportar, en el futuro, mecanismos útiles para sustituir la industria petroquímica por otra, “la alcoquímica”, ya que analizan cómo generar una gran variedad de productos (plásticos, fertilizantes, etc.) que hoy en día se producen a partir del petróleo y sus derivados.

Por otra parte ciertas reacciones químicas liberan hidrógeno: Por ejemplo, se libera hidrógeno cuando reacciona el ácido clorhídrico con un metal como el litio o el aluminio. Este método es muy útil para su producción a pequeña escala en el laboratorio, pero resulta muy caro a escala industrial.

Independientemente de donde se extraiga, el hidrógeno siempre se obtiene mediante un proceso que requiere energía. Lo ideal es que la misma provenga de las energías renovables.

Una alternativa es convertir a hidrógeno las energías eólica y solar, que están cuando sopla viento y hay sol y que convertidas y almacenadas como hidrógeno podrían aprovecharse en cualquier momento. Por la baja eficiencia de los procesos de conversión y por las dificultades técnicas de almacenaje del hidrógeno, se sigue investigando.

En función del recurso de donde se obtenga, suele nombrarse al hidrógeno con el agregado de un adjetivo. Si proviene del agua se denomina “**hidrógeno azul**”, si procede de la biomasa se lo llama “**hidrógeno verde**” y si fuera de hidro-

11 http://www.agencia.mincyt.gov.ar/IMG/pdf/casoagencia_energiasincontaminar.pdf

carburos se lo conoce como **“hidrógeno negro”** Por otra parte, si la energía que se transforma para obtener hidrógeno es eólica, podemos llamarlo **hidrógeno hijo del viento**.

“Cada tecnología se encuentra en un grado de desarrollo y cada una ofrece oportunidades únicas, beneficios y desafíos. La elección de una u otra materia prima, técnica de producción y fuente de energía dependerá de la disponibilidad del recurso, de la madurez de la tecnología de proceso, del tipo de demanda y aplicación de mercado, de la política energética y de los costes para la obtención del hidrógeno”. (González García-Conde; 2008; p. 3)

Almacenamiento del hidrógeno

El desarrollo de tecnologías que funcionen con hidrógeno como combustible depende de cuan seguro y rentable resulte almacenar y transportar hidrógeno.

Un gran inconveniente asociado con el almacenamiento del hidrógeno es su alto grado de inflamabilidad, en concentraciones que van desde el 4 % hasta el 75 %, que puede originar incendios más que explosiones.

El almacenamiento del hidrógeno como **gas comprimido** ha sido muy usado durante más de cien años. Para grandes volúmenes de hidrógeno, una alternativa es el almacenamiento subterráneo, en pozos de petróleo o de gas agotados, o en cavernas porosas de acuíferos subterráneos. También se utilizan tanques de baja presión porque este tipo de acumuladores son los más económicos.

El desafío más importante es almacenar una cantidad suficiente de gas hidrógeno para ser utilizado como combustible en los automóviles. Como el hidrógeno tiene una energía muy baja por unidad de volumen, con el fin de acumular tanto hidrógeno como sea posible en un espacio muy confinado, se incrementa la presión en los tanques. Los acumuladores de alta presión se fabrican en acero al carbono o inoxidable que resultan muy pesados. Hay otros más livianos, contruidos en materiales de fibra y carbono, con un fino revestimiento interno de aluminio o “liner” que son más livianos, pero mucho más caros.

Cuando el gas hidrógeno se usa en vehículos, los tanques se cargan en las estaciones de servicio para gas hidrógeno, siguiendo normas de seguridad similares a los que se aplican en las estaciones de combustibles líquidos o GNC, como no fumar, no usar teléfonos celulares dentro de la estación y mantener alejada toda fuente de ignición.

El aprovisionamiento de GH (gas Hidrógeno) es similar al de GNC. El GH es almacenado a presiones de hasta 400 bares y en las de mañana quizá se pue-

da trabajar con el doble de presión. Los tanques están diseñados para soportar presiones 2,75 veces mayores que las de trabajo y sometidos a prueba efectivas antes de su certificación.

Por otra parte, el **almacenamiento del hidrógeno licuado (LH₂)** es la forma preferida de almacenamiento de grandes cantidades de hidrógeno, para la aviación y los vuelos espaciales e incluso automóviles, por el poco espacio disponible para los tanques.

El hidrógeno se licua a una temperatura extremadamente baja (-235 °C) mediante un complejo proceso que incluye el uso del nitrógeno líquido y una secuencia de compresores. Debe almacenarse como un líquido criogénico (a baja presión y baja temperatura), siendo necesarios tanques muy bien aislados, para evitar que el hidrógeno se evapore, lo que puede ocurrir si aumenta la presión dentro de los recipientes.

¿Autos a hidrógeno?

BMW presentó en la Exposición Universal de Hannover en el año 2000 el primer coche a hidrógeno producido en serie de la historia, el 750 hL. Un automóvil con motor de 12 cilindros que desarrolla una potencia de unos 204 CV, y que es capaz de acelerar de 0 a 100 km/h en 9,5 segundos y puede alcanzar una velocidad máxima de 226 km/h.

El 750 hL tiene un depósito de 140 litros para transportar hidrógeno líquido criogenizado... ¿De dónde obtendrán estos coches el hidrógeno? De futuras estaciones de servicio para el suministro de hidrógeno líquido. Los suministros serán automatizados, es decir realizados por robots y se tardará aproximadamente tres minutos en llenar el tanque.

Otras alternativas para el almacenamiento del hidrógeno son en **hidruros metálicos** y en **carbón activado**.

Los **hidruros metálicos** son combinaciones del hidrógeno con ciertos metales o mezclas de metales, que se obtienen enfriando la mezcla metálica e introduciendo hidrógeno a presión. El atractivo de este sistema radica en que la reacción es reversible: calentando el hidruro y disminuyendo la presión, el hidrógeno se libera y puede ser utilizado como combustible. Es una forma de almacenamiento estable y segura, pero tiene el inconveniente de que los hidruros que operan a

baja temperatura –que pueden liberar el hidrógeno a sólo 40-90 °C y tienen mayor capacidad de almacenamiento– son muy lentos y pesados, por lo que resulta más adecuada para otras aplicaciones.

Investigadores del Instituto Balseiro y del Centro Atómico Bariloche trabajan en un programa de almacenamiento de hidrógeno en forma sólida para su posterior utilización como vector energético. Buscan aprovechar la capacidad del hidrógeno de formar hidruros con otros elementos para que ocupe menos volumen que en estado líquido.¹²

El **carbón activado**, es un material muy poroso, similar a una esponja al que se adsorbe¹³ el hidrógeno. Permitiría usar tanques de almacenamiento a presión atmosférica y a temperatura ambiente, que serían mucho más livianos, baratos y seguros. Si bien esta alternativa es candidata a almacenar grandes cantidades de hidrógeno de forma segura, aún falta desarrollo tecnológico. El carbón activado, gracias a la enorme cantidad de microporos atrae y atrapa ciertas moléculas del fluido que lo rodea. Se utiliza para la purificación del agua doméstica, dentro de unos filtros que se colocan junto a las canillas de la cocina. Elimina el cloro, metales pesados y demás partículas que tiene el agua de la canilla. ¿Los observaste en alguna vivienda?¹⁴

Otra alternativa de almacenamiento de hidrógeno es mediante “pilas”. Una pila de combustible es otra alternativa limpia y eficiente de utilizar el hidrógeno, pero, ¿en qué diferencia una pila convencional de una pila de combustible de hidrógeno?

En una pila convencional la energía química se transforma en electricidad; cuando se termina esa energía química, se tira; o, en el mejor de los casos, se recarga. La pila de combustible, en cambio, convierte en electricidad la energía química de un combustible, hidrógeno en este caso, que recibe del exterior y es capaz de suministrar energía eléctrica de forma continua mientras se mantenga el aporte de este combustible. Para la conversión de energía se requiere oxígeno, y dada su disponibilidad en el aire, generalmente no es necesario almacenarlo.

Las pilas de combustible liberan energía mediante una reacción química de

12 Fuente: Infouniversidades. http://www.argentina.ar/_es/ciencia-y-educacion/C10804-hidrogeno-fuente-de-energia.php

13 (Del lat. ad ‘hacia’ y sorbere ‘sorber’). Un cuerpo adsorbe cuando atrae y retiene en su superficie moléculas o iones de otro cuerpo.

14 Para más información se recomienda la página <http://www.terra.org/articulos/art01206.html> (28 de mayo de 2012)

manera silenciosa, eficiente y sin polución. Contrariamente a los recursos provenientes de combustibles fósiles, el único producto resultante es el agua.

¿Qué sucede con el transporte del hidrógeno?

Si el hidrógeno se almacena como gas licuado, el transportarlo por barco o camión grandes distancias, lleva asociadas altas pérdidas de energía por evaporación. A su vez, "el transporte de hidrógeno por gasoducto requiere 4,6 veces más energía por unidad de energía transportada que el transporte del gas natural. Para satisfacer la demanda el hidrógeno puede ser transportado regionalmente y distribuido en estado gaseoso o como licuado ya sea por contenedores aislados por carretera o ferrocarril. Dependiendo del uso final de hidrógeno deber ser almacenado al borde de su consumidor en sistemas estacionarios o móviles, como líquido o aprovechando algunas de sus excepcionales propiedades físico-químicas en hidruros metálicos o en carbón activado." (Nejat Veziroglu, 2002, p. 6)

Proyectar un desarrollo adecuado es esencial para convertir el aprovechamiento de la energía del hidrógeno en una realidad viable.

"Argentina (...) es un buen candidato para una temprana conversión a Hidrógeno Energético. Además de dotarla de un sistema energético permanente ayudará a acelerar el desarrollo económico del país." (Nejat Veziroglu, 2002, p. 8) Urge aprovechar el hidrógeno verde, proveniente de la **biomasa** y el que se obtiene aprovechando la energía de los característicos **vientos** de la Patagonia Argentina...



CAPÍTULO IV

Energía del Sol y del Viento

Sandra Caminaur

A partir del sol y del viento.

En un país tan extenso como el nuestro, hay distribuidas muchas comunidades pequeñas, aisladas o lo suficientemente alejadas entre sí o de los centros urbanos, como para conectarse, por razones económicas, a las redes de energía eléctrica. En uno u otro contexto, consumimos energía eléctrica y, si no contamos con ella, se modifica notablemente nuestra calidad de vida. La cuestión es **¿qué recursos energéticos utilizamos?, ¿todo es para siempre...?**. Para compenetrarnos en el tema, en este capítulo se desarrollarán las energías **renovables** Solar y Eólica.

Estructura y Composición del Sol

La materia que compone al Sol, en porcentajes aproximados, es: Hidrógeno (75 %), Helio (23 %) y otros elementos, 2 por ciento, como por ejemplo el oxígeno, el carbono, el hierro y el neón, entre otros.

En su estructura interna se pueden distinguir varias capas o zonas:

El núcleo del Sol o zona central, esencialmente materia en estado de plasma. En esta zona ocurre la fusión nuclear, un proceso físico que involucra diferentes tipos de reacciones químicas que causan la unión de núcleos atómicos con liberación de neutrinos, positrones, radiación gamma e isótopos atómicos. La ca-

dena protón-protón es una de las dos reacciones de fusión que se producen en las estrellas para convertir el Hidrógeno en Helio, el otro proceso conocido es el ciclo CNO (Carbono-Nitrógeno-Oxígeno). Las cadenas protón-protón son más importantes en estrellas del tamaño del Sol o menores. El balance integral de ambos procesos, es el equivalente de unir cuatro nucleones y dos electrones para formar un núcleo de helio-4 (2 protones + 2 neutrones). Estas reacciones se producen en condiciones de altísimas presión y temperatura (14 a 15 millones de grados).

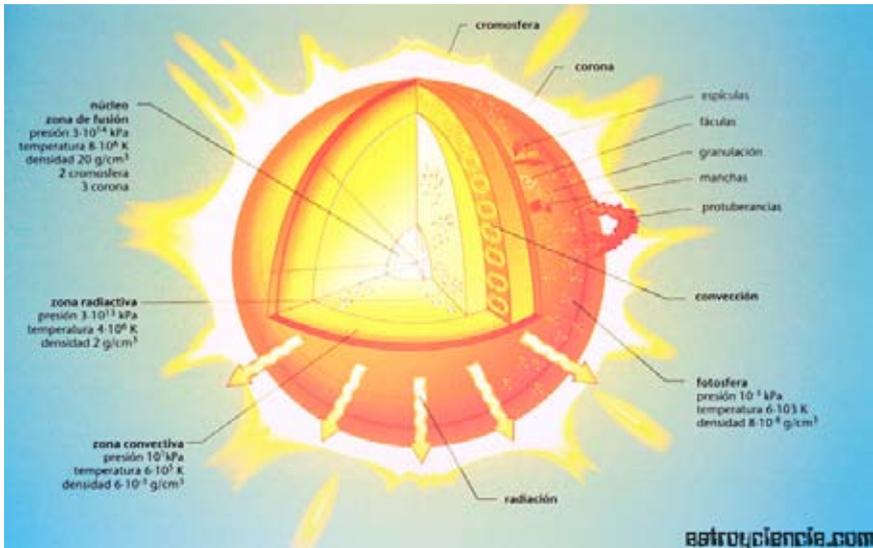


Figura 4.1 Estructura del Sol

Fuente: <http://www.astrociencia.com/2008/01/29/capas-internas-y-externas-del-sol/>

- La **zona radiativa**, que se encuentra sobre el núcleo, es una región gaseosa ionizada en la que la energía es transportada por fotones, estos son continuamente absorbidos y remitidos hacia otras direcciones, lo que ocasiona que puedan tardar unos 100.000 años en llegar a la superficie.
- La **zona convectiva** ocupa el último tercio del radio solar y como el nombre lo indica, la energía es transportada por convección¹, es decir que una mezcla turbulenta de gases (denominadas celdas convectivas) suben a la superficie, se enfrían y vuelven a descender.

1 Es la transferencia de energía por el movimiento de una sustancia.

- La **fotósfera**, de 100 a 200 km de espesor, constituye el contorno visible del disco solar; desde acá se emite la mayor parte de la energía que recibimos por radiación.-
- La **cromósfera**, de aproximadamente 2.500 km de espesor, presenta una coloración rojiza, tiene una muy baja densidad, elevadas temperaturas (alcanza los 20.000 °C) y fuertes campos magnéticos.
- La **corona** es la capa más externa del Sol, se extiende a más de un millón de kilómetros y está compuesta por plasma que emerge gradualmente constituyendo el viento solar. Es de donde provienen los rayos X de la radiación solar.

El sol irradia de manera uniforme en todas las direcciones, principalmente luz visible y radiación infrarroja, y se puede calcular la cantidad total de energía radiada cada segundo llamada potencia, midiendo la cantidad de energía solar / segundo que llega a cada metro cuadrado de la Tierra y luego multiplicando ese valor por la superficie total de una esfera con un radio igual al radio de la órbita terrestre. Tenemos una cantidad sorprendentemente grande de energía de 400 billones de billones de watts.

Aprovechamiento de la Energía Solar

La Tierra absorbe por radiación una cantidad de Energía Solar equivalente a 14.000 veces el consumo mundial, a lo largo de un año. Este tipo de energía tiene varias ventajas: Es perdurable a lo largo plazo. Contribuye al desarrollo sostenible pues su uso facilita el seguimiento y consecución de los criterios de las políticas medioambientales y de calidad. Es estable temporalmente, ya que el suministro se obtiene durante todo el año. No modifica la calidad de aire y suelos. Está al alcance de todos los usuarios, ya que no requiere de redes artificiales de transporte y distribución. No produce residuos de difícil tratamiento como el uranio y los combustibles fósiles. Además, las placas solares que pueden utilizarse para aprovecharla, requieren bajo mantenimiento, poseen una larga vida útil (entre 20 a 30 años), son silenciosas (no ocasionan contaminación acústica) y no requieren combustibles.

La **Constante Solar** es un número que nos indica la cantidad de energía solar radiada que llega a la Tierra (fuera de la atmósfera), tiene un valor de **1367 W/m²** (watt por metro cuadrado) según la escala del WRRC (World Radiation Reference Centre). Debido a la variación de la distancia Sol - Tierra, la intensidad de esta radiación varía durante el año en más, menos un 3,4 %, con un máximo en enero

(perihelio) y un mínimo a comienzos de julio (afelio). Atravesando su espectro las regiones ultravioleta, visible, infrarrojo a excepción del 0,1 % que corresponde a ondas mayores.

Para utilizar esta energía, es necesario conocer el movimiento relativo de la Tierra y el Sol, pues se necesita establecer un promedio con los datos que indican la cantidad de energía que llega a un lugar determinado en la Tierra, en distintos lapsos de tiempo (hora, mes, año). Si nos ubicamos en un sistema de referencia que tenga su origen en el Sol, veremos que la Tierra gira sobre sí misma tardando un día en hacerlo y a su vez se mueve describiendo una órbita elíptica. En este caso el Sol estaría ubicado en uno de los focos de dicha elipse. Además, el eje perpendicular al eje de rotación de la Tierra está inclinado $23,45^\circ$ respecto al plano orbital marcado por la línea Tierra-Sol, lo que se conoce como ángulo de declinación, con lo cual el ángulo que forman el ecuador terrestre y el plano orbital varía a lo largo del año entre $23,45^\circ$. Todo esto explica las distintas estaciones del año y justifica por qué los rayos del Sol inciden, con mayor o menor intensidad, sobre la superficie terrestre.

La distancia media que hay entre el Sol y la Tierra es conocida como unidad astronómica y es de $1,496 \times 10^{11} \text{m} = 149.600.000.000 \text{ m}$. La radiación emitida por el Sol demora unos ocho minutos en llegar desde la fotosfera a la atmósfera terrestre. Parte de la energía que es reflejada, ya sea por las nubes como por la superficie terrestre y vuelve al espacio exterior, recibe el nombre de albedo; la que alcanza la superficie terrestre, recibe el nombre de radiación global, que es la sumatoria de las incidencias directa² y difusa³. Así constituida esta radiación es utilizada para la fotosíntesis de la biósfera, para calentar el aire, los ríos y lagos y el resto que llega es la que se puede aprovechar con fines térmicos y/o fotovoltaicos.

La energía solar puede transformarse, de acuerdo a las necesidades, con efectos **térmicos** y/o con efectos **fotovoltaicos**.

Cuando la Energía Solar se transforma en Energía Térmica

La energía proveniente del sol se usa para aumentar la agitación de las partículas que componen algún tipo de materia.

2 Es la radiación que no se desvía, llega en línea recta.

3 Es la radiación que se forma con la sumatoria de las incidencias que atraviesan las nubes y de parte de las que son reflejadas por el suelo.

Quando se absorbe y/o refleja energía...

Se entiende que un objeto está en equilibrio con su entorno, cuando su temperatura permanece constante, debido a que emite y absorbe energía con la misma velocidad. Cuando un objeto absorbe toda la energía que incide sobre él, se dice que es un absorbedor ideal y se lo conoce como cuerpo negro. En cambio, cuando un objeto refleja toda la energía que incide sobre se lo conoce como reflector ideal.

Los colectores solares funcionan atrapando la radiación que traspasa un cristal y es absorbida por una superficie que utiliza esa energía para aumentar el movimiento de sus partículas, emitiendo a su vez radiación de onda larga que queda atrapada por el mismo cristal (esto se conoce como efecto invernadero). Es decir que estos colectores absorben la radiación solar y la transmiten a un fluido portador pero el problema que presentan es que pierden energía por conducción⁴ y convección. Los colectores solares producidos en la actualidad tienen un elevado grado de absorción y un bajo nivel de pérdidas.

Hay distintos tipos de colectores: los colectores planos, que funcionan con agua; los colectores de polipropileno; los colectores de tubos de vacío y los colectores de aire. Para que la energía solar captada, por cualquiera de estos colectores, pueda ser utilizada como energía térmica en el lugar que se necesite, los sistemas que se utilizan son diferentes según requieran o no energía adicional.

Los **Colectores Planos**, de muy variados tamaños, se utilizan para obtener agua caliente sanitaria o para la calefacción de viviendas. Por ejemplo, un **colector solar de placa plano con circulación natural**, de simple fabricación, está constituido por una *cubierta transparente* (puede ser de vidrio o de acrílico), una *placa absorbente* (lámina pintada de negro mate sobre la cual están soldados los tubos por los que circula el agua), *aislante* (que puede ser de fibra de vidrio, aserrín, granza de arroz, estopa de coco sobre el que se coloca la placa con los tubos), *cubierta de lámina galvanizada* (se usa para proteger el colector de las condiciones ambientales) y *el tanque de almacenamiento* (para el agua caliente producida).

Los **Colectores de Polipropileno** son los que se usan para calentar el agua de las piletas o piscinas.

⁴ Es el proceso de transferencia de energía, basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia, que está relacionado con una diferencia de temperatura.

Los **Colectores de aire caliente** se usan, generalmente, para quitar la humedad de los productos.

Con los **Colectores de Tubos de Vacío** se logran temperaturas más altas que con los planos, por lo que se utilizan para suministrar agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración.

Para *conservar alimentos* se usa el **Secador Solar** que, básicamente, consta de un colector solar, un absorbedor y una cámara de secado. La técnica de secado de alimentos se utilizó desde la antigüedad, al extraer el agua se evita la proliferación de microorganismos que los descompongan, consiguiendo de esta forma resguardar las propiedades nutricionales y lograr almacenarlos por largos períodos de tiempo. La forma más habitual de hacerlo era el secado directo al sol o secado al aire libre, en donde los alimentos se colocaban sobre una superficie plana, expuestos al sol y al aire. Si bien, esta técnica es simple y tiene bajo costo, es difícil mantener la higiene durante el proceso y hay que contar con buen tiempo y mucho espacio para realizarla. La técnica del secado solar surge para superar estos inconvenientes. En la actualidad ésta se utiliza sobre todo para secar productos agrícolas, madera, pescado, etc.- Existen diferentes categorías de secadores de acuerdo al modo de operación que utilicen y la correspondiente forma para extraer la humedad de los productos.

En la *refrigeración solar* se utiliza un sistema donde se ensambla el colector solar con el depósito de almacenamiento de energía, luego ambos se adosan a un ciclo de absorción que intercambia energía por calor de un depósito a baja temperatura. Para esto se utilizan mezclas absorbentes - refrigerantes como: agua - amoníaco, bromuro de litio - agua, etc. La energía solar se usa para vaporizar parte del agua de la mezcla, necesitándose temperaturas superiores a 100°C. El vapor se condensa mediante un refrigerante y luego se expande para volver a la fase de vapor. En ese proceso se extrae la energía de la zona a ser refrigerada y se reinicia el ciclo.

Las **Centrales Térmicas Solares** se basan en espejos que concentran los rayos solares para calentar un fluido que, convertido en vapor, acciona una turbina que, activa un generador eléctrico. Existen tres variantes, dos de ellas son sistemas concentradores de foco puntual como el Sistema de Torre Central y el Sistema de Disco Parabólico y la otra es el Sistema Cilindro Parabólico que es un concentrador de foco lineal. Estos procedimientos necesitan dispositivos de seguimiento del sol a lo largo de su trayectoria diaria. De esta manera la **energía solar** se transforma primero en **energía térmica** y luego en **energía eléctrica**.

Cuando la Energía Solar se transforma directamente en Energía Eléctrica

Para que este fenómeno suceda, es necesario contar con un material que posea la propiedad de absorber la Energía, transportada por las ondas electromagnéticas provenientes del Sol y transformarla en Energía Eléctrica. Este proceso fue descubierto por Antoine Becquerel, en 1839, y recibió el nombre de efecto fotovoltaico. Más tarde en 1877, W. Grylls Adams y R. Evans Day, estudiaron el efecto de la luz sobre el selenio comprobando que se creaba un flujo de electricidad. En el año 1885 Charles Fritts construyó el primer módulo fotoeléctrico, para ello colocó una lámina de selenio⁵ sobre un soporte metálico y la recubrió con una película transparente de oro. La teoría para explicar el fenómeno fotovoltaico fue dada por Albert Einstein en 1905, y completada por Schottky en 1930. La primera celda fotovoltaica de silicio fue construida, en 1940, por Russell Ohl y patentada en 1946; después de algo más una década, fueron fabricados los primeros módulos fotovoltaicos, ya que se requirieron de otras investigaciones para que se considerara al silicio como material básico para las celdas; Pearson, Fuller y Chaplin, de los Laboratorios Bell, en los EE.UU., desarrollaron esta primera celda de silicio, con una eficiencia del 6 %; su objetivo estuvo enfocado en mejorar la adaptación de los dispositivos para los satélites espaciales. Sin embargo, los primeros satélites, dotados de celdas solares, fueron lanzados en 1957 por los soviéticos y luego un años después por Estados Unidos.

Con las celdas fotovoltaicas, se consigue electricidad sin el uso de un generador... ¿pero cómo?

Para comprender el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas hay que recordar en primer lugar cómo se compone la materia y en base a esto, relacionar por qué algunos elementos son conductores, semiconductores y aislantes y cómo actúan en cada caso. Los átomos poseen en su interior partículas subatómicas, dos de las cuales poseen carga eléctrica, los electrones que tienen carga negativa y los protones que tienen carga positiva; los primeros se localizan en los orbitales, en la zona externa, lo que permite a estas partículas tener mayor posibilidad de movimiento; los segundos se encuentran en el núcleo atómico junto a los neutro-

⁵ Las aplicaciones de la calda de selenio fueron para sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas.

nes que no tienen carga. Partamos de la idea de que la corriente eléctrica es un flujo de electrones; en el caso de los materiales conductores los electrones tienen mucha movilidad, por ello tienen la propiedad de transmitir la energía; en cambio en los aislantes, salvo condiciones extremas, los electrones no se mueven; en los semiconductores se deben cumplir ciertos requisitos, para que sus electrones alcancen la energía necesaria y adquieran movilidad. En las celdas fotovoltaicas de silicio, que es un elemento semiconductor, sólo se puede generar electricidad cuando se cumple con alguna de estas tres condiciones: al modificar el número de cargas positivas y negativas; al crear cargas que permitan la aparición de una corriente y al establecer una diferencia de potencial o campo eléctrico.

Eficiencia de las Celdas

La eficacia es mayor para las de silicio monocristalino, de aproximadamente entre un 16 y un 25 %, luego la del policristalino, que es del 12-13 % y la del amorfo que si bien su rendimiento es ligeramente inferior (entre un 5 y un 7 %), su adquisición es mucho menos costosa, es un polvo de color pardo cuya estructura está compuesta de unidades tetraedrales centradas en átomos de silicio y que Berzelius (en 1824) obtuvo por primera vez haciendo reaccionar tetrafluoruro de silicio (F_4Si) sobre potasio fundido. También hay celdas fotovoltaicas hechas de otros materiales como seleniuro de cobre e indio, telurio de cadmio, arseniuro de galio, etc.

Como el proceso de transformación del silicio amorfo al cristalino expresado anteriormente, requiere de mucha energía y de solventes que contaminan el medio, es que se están investigando otros tipos de dispositivos de generación fotovoltaica, como las *celdas solares sensibilizadas con colorantes*. Estos dispositivos de conversión podrían llegar a proporcionar energía solar más económica a gran escala, ya que emplean materiales de pureza medio-baja y procesos de construcción bastante simples. Aunque hasta ahora no se han logrado eficiencias suficientes para competir en el mercado actual de energía solar, se trata de campos de investigación emergentes y con un futuro prometedor.

La Energía Solar Fotovoltaica tiene varias aplicaciones: Generación de Electricidad en sitios aislados en baja tensión y/o 220 v. con o sin entrega a la red; bombeo de agua; señalizaciones marítima a través de boyas luminosas, ferroviaria y vial; antenas en telecomunicaciones y electrificación de alambrados.

Para efectivizar la transformación de Energía Solar a Energía Eléctrica hay dos grandes grupos de sistemas: los sistemas autónomos sin conexión a la red y sistemas conectados a la red. Los primeros constan de un sistema de captación solar (celdas dispuestas en paneles), de las baterías para almacenar la electricidad generada y un controlador (para carga y descarga de las baterías). Estos sistemas se utilizan en zonas rurales donde no llega la red eléctrica convencional. Los segundos constan solo de los sistemas de captación y de conversión, de corriente continua a corriente alterna, de la electricidad generada y de conexión a la red. Estos se instalan en zonas urbanas.

¿Cómo está formado un Sistema Fotovoltaico conectado a la red?

Una Celda solar es un generador de baja potencia que se pueden asociar para formar un Módulo. En un sistema fotovoltaico conectado a la red existe un generador fotovoltaico, cuyos módulos están conectados en serie formando varias cadenas, que a su vez constituyen el campo fotovoltaico; desde éste se obtiene corriente continua. Luego para poder llevar esta energía a la red, se debe transformar en alterna, a una potencia y frecuencia fijadas (para alcanzar la primera se vinculan en paralelo), el buen funcionamiento de la instalación se controla a través de un regulador, que es un sistema de protección ante variaciones de los parámetros establecidos.

Y en nuestro País ¿qué se está haciendo?

La provincia de San Juan se encuentra en una región de gran heliofanía e irradiación solar; ella también posee una región desértica y semidesértica que no es apta para la agricultura ni la minería, que puede aprovecharse para instalar centrales solares de gran capacidad. Los lugares aptos para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica son los Valles de la Iglesia, de Calingasta, de Jáchal, de Río Bermejo, de Tulúm.

En la actualidad, la Central Fotovoltaica Solar San Juan I está en funcionamiento y es la primera planta, en su tipo, en Argentina y en Latinoamérica, conectada en la red; proporciona aproximadamente 2200 MWh de energía anual, que alcanza para abastecer alrededor 1000 hogares con consumo medio. En esta provincia también se están implementando los Proyectos de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER I y PERMER II) aislados de red; se llevan a cabo Prue-

bas Pilotos: de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica Residencial, de paneles en casas de familia conectadas a la red y de Alumbrados Públicos; se proyecta la instalación de paneles, para realizar Bombeo Solar para Riego por aspersión en el sector agrícola. Así mismo se fabrican tejas solares y se proyecta la instalación de la fábrica de celdas y paneles fotovoltaicos.

La Plataforma Solar Térmica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) ha logrando, desde el 2009, mejoras en colectores de agua caliente sanitaria de fabricación local.

Desde el Viento

La energía eólica utiliza al viento como recurso; su nombre proviene de Eolo, el dios de los vientos de la antigua mitología griega. El viento se produce por la conjunción de los siguientes factores: las variaciones de temperatura, ocasionadas por la incidencia de la radiación solar sobre diferentes relieves de la superficie terrestre, que a su vez originan diferencias en la presión atmosférica; la alternancia del día y la noche; la nubosidad; y, la rotación de la tierra.

Las masas de aire con mayor temperatura tienden a ascender y las masas de aire más denso y frío ocupan su lugar, por lo tanto, el viento no es más que el desplazamiento de las masas de aire.

Los molinos de viento tienen una larga historia que se remonta al siglo VII, en el que los persas ya los utilizaban para **riego y molienda**. Estaban formados por alas montadas sobre un palo vertical, cuyo extremo inferior movía una molienda. Estos se difundieron a los países árabes, y según algunos historiadores, desde allí los cruzados, los llevaron a Europa., Otros afirman que fueron los mismos árabes quienes los hicieron. Se cree que este invento se propagó por ese continente entre los siglos XI y XIII.

Don Quijote y los molinos

"(...)En esto descubrieron treinta o cuarenta molinos de viento que hay en aquel campo, y así como Don Quijote los vio, dijo a su escudero: la ventura va guiando nuestras cosas mejor de lo que acertáramos a desear; porque ves allí, amigo Sancho Panza, donde se descubren treinta o poco más desaforados gigantes con quien pienso hacer batalla, y quitarles a todos las vidas, con cuyos despojos comenzaremos a enriquecer: que esta es buena guerra, y es gran servicio de Dios quitar tan mala simiente de sobre

la faz de la tierra. ¿Qué gigantes? dijo Sancho Panza.

Aquellos que allí ves, respondió su amo, de los brazos largos, que los suelen tener algunos de casi dos leguas. Mire vuestra merced, respondió Sancho, que aquellos que allí se parecen no son gigantes, sino molinos de viento, y lo que en ellos parecen brazos son las aspas, que volteadas del viento hacen andar la piedra del molino(...)"

Miguel de Cervantes – El Ingenioso Hidalgo de Don Quijote de la Mancha

Estas máquinas se fueron perfeccionando a través del tiempo y de acuerdo a las necesidades de las personas, hasta llegar a la actualidad en donde se aplican tecnologías complejas con la finalidad de obtener mayor rendimiento y aprovechar los vientos cuya velocidad esté comprendida entre determinados límites que van entre 3 m/s a 25 m/s.

Estructura y Clasificación de los Aerogeneradores

Los Aerogeneradores tienen una parte denominada **góndola** en donde se encuentran el generador eléctrico, el multiplicador y los sistemas hidráulicos de control, orientación y freno. El multiplicador funciona acrecentando unas 60 veces, mediante un sistema de engranajes, la velocidad del eje del rotor. De esta manera se transmite al eje una velocidad de 1.500 revoluciones por minuto, lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico, transformando la energía mecánica del giro de su eje, en energía eléctrica. Sin embargo existen otras tecnologías que no lo requieren, por ejemplo los aerogeneradores Enercon. Detrás de la góndola se encuentran la veleta y el anemómetro que miden, respectivamente, la dirección y la velocidad del viento, y envían esta información a los sistemas de control que accionan el aparato para que el rotor y las aspas se sitúen en la dirección recomendable respecto del viento. La góndola también posee un sistema de **cambio de paso** que hace girar el sistema de palas para que estas reciban el viento en la posición óptima; también se utiliza este sistema para frenar el rotor cuando resulte necesario.

Existen diferentes modelos de Aerogeneradores:

De acuerdo al eje del rotor se encuentran:

- Los de **eje vertical**, sus principales ventajas son que no necesita un sistema de orientación al ser omnidireccional y son instalados a ras de suelo, lo que

facilita su mantenimiento y reduce los gastos de montaje. Sus desventajas frente a otro tipo de aerogeneradores son sus menores eficiencias, la necesidad de sistemas exteriores de arranque en algunos modelos, y que para realizar las tareas de mantenimiento hay que desmontar toda la maquinaria del aerogenerador.

- Los de **eje horizontal**, tienen una mayor eficiencia energética, alcanzan mayores velocidades de rotación y al estar montados sobre una torre, aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento, con la altura. Los modelos de eje horizontal puede subdividirse a su vez por el número de palas empleado (tripala, bipala y monopala), por la orientación respecto a la dirección dominante del viento (barlovento⁶ y sotavento⁷) y por el tipo de torre utilizada, de celosía y tubulares.

Según la potencia suministrada existen:

- Equipos de **baja potencia**: proporcionan potencias que oscilan en el rango de 50 KW, se utilizan como fuente de energía para sistemas mecánicos para bombeo de agua o como suministro de energía en equipos aislados.
- Equipos de **potencia media**: poseen un rango de 150 KW y se usan conectados a la red o *junto con sistemas de respaldo*.
- Equipos de **alta potencia**: se utilizan para producir energía en grandes grupos conectados a la red y conformando centrales eoloelectricas, ya sea en tierra como en entorno marino. Su producción llega hasta el orden del gigawatt.

En la actualidad la gran mayoría de los aerogeneradores que se construyen, conectados a red, son tripalas de eje horizontal, orientados a barlovento y montados sobre torres tubulares. En cuanto al tamaño tanto de las aspas como de las torres, está dado por la relación aspas-altura de torre, donde el diámetro de las aspas es la mitad de la altura de la torre. La electricidad generada baja por cables a un convertidor, donde es transformada y enviada a la red eléctrica en óptimas condiciones o sea sin fluctuaciones.

6 Es cuando el rotor se encuentra enfocado de frente a la dirección del viento dominante.

7 Cuando el rotor se encuentra enfocado en la misma dirección pero en sentido contrario al del viento dominante, no requiere un mecanismo de orientación.

Composición de las palas

Las palas, de los aerogeneradores, están hechas con poliéster o epoxi reforzadas con fibra de vidrio, por lo que es fundamental contar con petróleo para la fabricación de las mismas.

A vos lector: ¿Qué te parece si en lugar de usar principalmente al petróleo para combustible lo reservamos como materia prima para las aspas? ¿Lo ves factible en nuestra sociedad?

El aprovechamiento de la energía eólica

La energía eólica tiene principalmente dos aplicaciones, el **bombeo de agua** y la **producción de electricidad**.

Bombeo de agua: Los aerogeneradores multipalas, que pueden poseer de 12 a 24 palas, se utilizan para realizar el bombeo de agua. Como cuentan con una gran superficie expuesta al viento, cuando éste alcanza una mínima velocidad (llamada de arranque) hace rotar las palas de la aerobomba, lo que hace girar al eje que acciona la bomba de instalación y hace ascender el agua hasta un depósito. Este tipo de instalaciones se utilizan, sobre todo, en zonas rurales.

Producción de electricidad: La energía cinética del viento se transforma en energía eléctrica mediante el uso de turbinas eólicas o aerogeneradores. Para optimizar el rendimiento de estas maquinarias, se procura realizar la instalación en lugares aislados de obstáculos, como árboles o edificios, para que el viento tenga una velocidad constante y no haya turbulencias. En la actualidad los aerogeneradores poseen muy alto rendimiento, del orden del 50 %, ya que cuentan con complejos sistemas de control. Este es un porcentaje muy alto teniendo en cuenta que la fracción máxima de la energía del viento que puede transformar un aerogenerador es del 59 %, según lo demostró el físico alemán Albert Betz en 1919.

La energía eólica es una de las más difundidas en el mundo, dada la amplia disponibilidad de este recurso, el gran avance tecnológico que se ha logrado y la madurez del sector eólico.

Hoy, también se instalan parques eólicos en el mar, ya que los vientos son más fuertes y predecibles y poseen menos turbulencias, pues la superficie es plana y existen pocos obstáculos. La energía eólica se utiliza también, para aportar al funcionamiento de las plantas que potabilizan el agua de mar, sobre todo en países que carecen de este recurso.

En cuanto a su aprovechamiento es importante destacar que no deja residuos, ni tampoco libera emisiones nocivas para el medio ambiente. Además, los aerogeneradores no necesitan suministro de combustible, por eso son muy eficaces para el progreso y para luchar contra la pobreza, en países en vías de desarrollo. Si bien entre las desventajas podemos mencionar el costo y la dificultad de transporte, sobre todo de las aspas, esto a su vez genera la necesidad de que la construcción de los aerogeneradores se realice en el país, lo que crearía a su vez nuevas fuentes de trabajo.

Finalmente, no debemos olvidar que los proyectos eólicos, al igual que los solares, presentan problemáticas referidas a la intermitencia y la necesidad de contar con extensos terrenos para su instalación.

Y en nuestro país ¿qué se está haciendo?

Este recurso se concentra particularmente en el sur del país, zona patagónica, y en la costa atlántica en donde existen vientos con velocidades medias elevadas, superiores en general a los 6 m/s, en prácticamente toda la costa atlántica y gran parte del sudoeste bonaerense, convirtiéndolo en un lugar altamente propicio para la instalación de aerogeneradores.

Entre los proyectos eólicos en desarrollo en nuestro país podemos mencionar:

El Parque Eólico Rawson, en la provincia de Chubut, está ubicado a 8 km de la Ciudad del mismo nombre, sobre la Ruta Provincial N°1 en el km 154,4. La maquinaria se importó y a nuestro país a través de transporte marítimo y luego mediante camiones llegó al lugar. Entre lo concretado hasta octubre del 2011 se puede mencionar: hay 36 aerogeneradores montados sobre un total de 43 previstos; todas las obras civiles están completadas; las conexiones a red cumplidas hasta un 90 % y la estación transformadora del parque, con un avance del 85 %. La entrada en operación comercial estaba prevista para diciembre de 2011 la primera parte (PER 1) y para enero del 2012 la segunda (PER 2). Producción energética bruta estimada en 300 GWh por año, equivalente al consumo anual de 100.000 hogares

En la provincia de La Rioja se inauguró oficialmente, el 20 de mayo de 2011, el Parque Eólico Arauco SAPEM, que en una primera parte del proyecto cuenta con 12 aerogeneradores, ubicados en el Valle de la Puerta, y que generan una potencia total de 25 MW, lo que significa el 20 % de lo que se consume en toda esta provincia. En este megaproyecto se pretenden instalar 190 aerogeneradores

en el término de cinco años constituyéndose, de esta manera, en el más grande de la Argentina.

A continuación se muestra el relevamiento de fabricantes de aerogeneradores de baja potencia en la Argentina

Empresa	Localización	Potencias ofrecidas
Invap	Neuquén	4,5 kW
Grupo ALP	Buenos Aires	1,1 kW
Giacobone	Córdoba	800/1000/1200
Pablo Álvarez	Neuquén	1,8 KW/ 10 KW
ST Charger	Buenos Aires	150 W / 600 W
Windearth	Buenos Aires	800 W
Giafa SRL	Córdoba	800 W / 2 KW
Eólica Salez	Buenos Aires	400 W
Eólica Argentina	Entre Ríos	500/750/1500/3000 W
MAKIARGENTINA	Buenos Aires	500/600/1000/1500/2200/ 3000/6000 W
Agroluz	Buenos Aires	2 KW/ 300 W
Electromecánica Bottino Hnos. S.A.	Mendoza	1,1 KW
Tecnotrol S.R.L.	Chubut	400 W / 800 W / 1,5 KW
H2Systems	Buenos Aires	
Windy West	Buenos Aires	150/600/900/1200/1500/2400/6000 W
Pampaco		S/D

Tabla 4.1 fabricantes de Aerogeneradores de baja potencia de Argentina

Fuente: www.inti.gov.ar/e-renova

Además, el INTI instaló una Plataforma de Ensayos en la ciudad de Cutral Có, provincia de Neuquén, en un terreno de tres hectáreas que cedió la Municipalidad del lugar. En esta Plataforma de ensayos, se medirán las curvas de potencia de 4 aerogeneradores en simultáneo, número que se prevé ascienda a nueve. Esto permitirá a los fabricantes consultar en tiempo real los ensayos de sus respectivos equipos. El sistema que se utilizará está diseñado para permitir el acceso, de manera remota, al ensayo de todos los aerogeneradores y comunicar las posibles

fallas. La idea es que en una segunda etapa, se medirán también los niveles de emisión sonora de los aerogeneradores.

Aerogenerador récord

Cabe destacar que el aerogenerador de Veladero, actualmente en operación, fue reconocido en el Libro de los Récord Guinness como el generador eólico a mayor altura en el mundo. El mismo está a 4.110 metros sobre el nivel del mar en la Cordillera de los Andes, posee una estructura de 229 toneladas y una altura que supera los 60 metros por lo que es uno de los aerogeneradores más grandes fabricado en los últimos tiempos, además también fue el primero expuesto a fríos extremos, nevadas intensas y vientos muy fuertes, que alcanzan hasta 222 kilómetros por hora. Proporciona hasta un 20 % de la electricidad total que se necesita para abastecer a las operaciones de la mina Veladero.

Sistemas Híbridos

Estos surgen de la combinación de dos o más sistemas de generación: uno convencional y uno que provenga de recursos renovables o de renovables entre sí, con la finalidad de garantizar continuidad del servicio eléctrico. Fomentar la utilización de los sistemas híbridos sería muy importante pues estos permiten aprovechar y optimizar el conjunto de los recursos de un determinado lugar.

Algunos ejemplos:

- El Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico (SHEFV), en el que se utilizan generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías, conformando un sistema autónomo y una buena opción para poblaciones aisladas.
- Minimolinos eólicos con seguidores solares para paneles fotovoltaicos, en estos se utiliza la torre de un aerogenerador para adosar los paneles solares con la tecnología de seguimiento solar controlada por un microprocesador. Con esto se logra maximizar las ventajas que ambas tecnologías ofrecen por separado.
- Sistemas Fotovoltaicos con generador auxiliar convencional de apoyo (grupo electrógeno). Durante las horas de luz los paneles solares fotovoltaicos

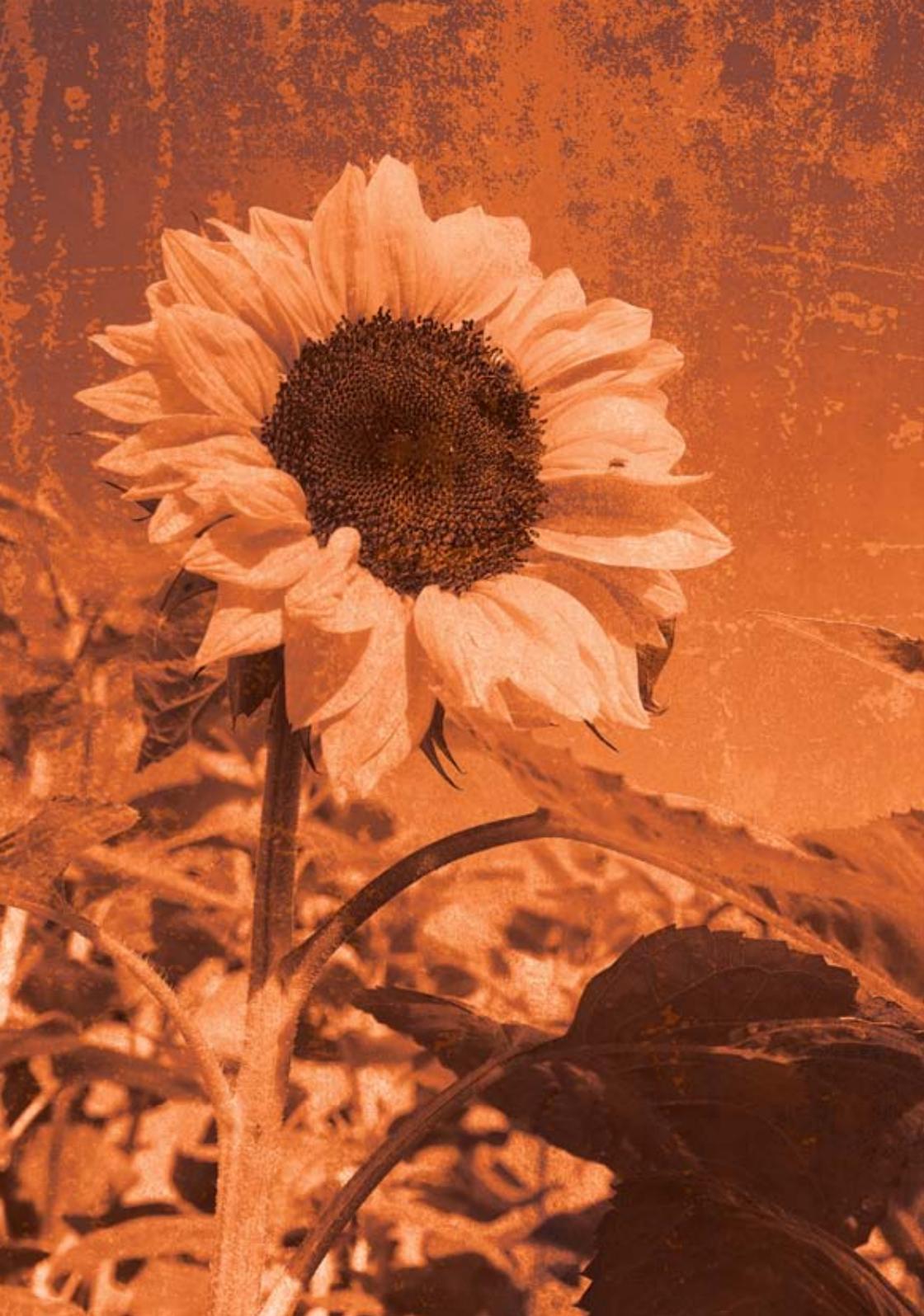
proveen la demanda de energía y recargan las baterías; pero si por ejemplo, durante la noche, estas baterías alcanzan un valor mínimo, el generador eléctrico convencional comenzará a funcionar.

- Sistemas Fotovoltaicos con hibridación a otro recurso renovable. Se combinan distintos sistemas de producción de electricidad y almacenamiento para suministrar la demanda de energía.

Módulo integral que utiliza hidrógeno

El Módulo Argentino de Energía Limpia (MAEL) se instaló, en enero del 2009, para proveer de energía a la Base Esperanza, en el sector Antártico Argentino. Es un desarrollo totalmente argentino que surge del trabajo conjunto entre el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), la Planta Experimental de Hidrógeno de Pico Truncado, la Asociación Argentina del Hidrógeno y la Escuela Superior Técnica del Ejército. Este primer módulo integral está destinado a proveer con energía limpia a sitios aislados, basado en los diferentes usos del hidrógeno como combustible de contaminación cero. Con este proyecto Argentina se convierte en el segundo país en instalar equipos de hidrógeno en la Antártida.

El proceso comienza con el aprovechamiento de la Energía Eólica para producir electricidad, con esa electricidad y con un proceso automatizado se descompone el agua por electrólisis, almacenando a alta presión hidrógeno y oxígeno de alta calidad. Luego, estos gases se utilizan como único combustible para cocinar, calefaccionar; en motores generadores de electricidad; en motores de combustión interna para usos múltiples; y en celdas de combustible tipo PEM para alimentar sistemas de comunicaciones y computación. La evaluación del MAEL, luego de poco más de un año, fue positiva excepto en la duración de los componentes expuestos a la inclemencia climática, como es el caso de los aerogeneradores. El resto de los componentes funcionaron bien y su impacto fue apreciado por los habitantes de la base, que pudieron comprobar las aplicaciones del vector hidrógeno en sus labores cotidianas. En cuanto a la continuidad del MAEL dependerá de poder contar con recursos, esfuerzos y buenas relaciones. La experiencia del MAEL I, además, podría replicarse en sitios aislados de la Patagonia o en áreas de compromiso ambiental, como las grandes ciudades con niveles altos de contaminación. También se podría considerar la posibilidad de utilizar la energía que se genera en los parques eólicos cuando no están conectados a la red para producir hidrógeno, mejorando así la eficiencia de estas máquinas.



CAPÍTULO V

Energía a partir de la Biomasa

Mario Rolando Molina

Algunas definiciones

Para iniciar el recorrido por los tipos de energía a partir del recurso Biomasa es preciso definir, antes, el alcance de algunos términos.

Cuando hablemos en este capítulo de *Recursos Renovables* retomaremos la definición presentada en el capítulo 2.

Vinculado a lo anterior, denominamos **Energías Renovables** a las que se obtienen de recursos naturales virtualmente **inagotables**, unos por el *inmenso nivel de energía* que contienen (energía solar, geotérmica) y otros porque son capaces de **regenerarse** por interacciones naturales con el entorno (energía de biomasa, eólica, mareomotriz, etc.) (Sánchez Miño, 2003).

Respecto del término **Bioenergías**, podríamos partir diciendo que con “bioenergías *no nos referimos* a las llamadas energías vitales (son aquellas implicadas en los procesos vitales que acontecen en los seres vivos y cuyas relaciones y transformaciones son estudiadas por la Bioenergética) (Blanco y Blanco, 2011; Nelson y Cox, 2005), ni campos energéticos de los seres vivos (auras) o energías de la naturaleza¹ que los chamanes introducirían en los enfermos²”.

Entonces... **¿a qué denominamos bioenergías?** Con este término nos referiremos a “Las energías que se pueden obtener por transformaciones de la biomasa

1 <http://documentostrabajadoresdelaluz.blogspot.com.ar/2010/05/que-es-la-bioenergia.html>

2 http://www.business-bioenergy.com/site/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=57

y que incluyen a todas aquellas asociadas a los combustibles orgánicos de origen biológico (biocombustibles³)” (Cardozo, 2009; Trossero y Horta Nogueira, 2001).

Y... **¿Biodegradable?** Con este término nos referiremos a compuestos químicos que situados en el ambiente, son pasibles de atravesar procesos microbiológicos de transformación y degradación hasta su conversión a sustancias reutilizables en la biosfera.

Y ahora... **¿cómo definimos biosfera, biomasa, biodiesel, fermentación, biogás, bioetanol, bio...?. Seguí con nosotros y te vas a enterar.** Veamos.

La Biomasa y su origen

Antes de describir el origen, es importante precisar la expresión “biomasa”. Se entiende por tal al conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal o animal, terrestre o acuática, o al producto de la transformación natural (espontánea) o artificial (provocada) de la misma. Esto incluye la fracción orgánica de los desperdicios municipales, residuos de la agricultura, la forestación y sus industrias asociadas (Sánchez Miño, 2003; Medina, 2008).

Historia del uso de la biomasa como combustible

La biomasa ha sido el primer recurso combustible empleado por el hombre desde los primeros usos del fuego (hace unos 1,5 millones de años) y el principal hasta la revolución industrial (iniciada en Inglaterra a fines del siglo XVIII). Se utilizaba para cocinar, para calentar el hogar, para elaborar elementos de cerámica y, posteriormente, para producir metales y para alimentar las máquinas de vapor. Fueron estos dos últimos usos, los que progresivamente requerían mayor cantidad de energía en espacios cada vez más reducidos.

La madera resultó ser el principal combustible hasta aproximadamente 1875, donde comenzó a ser remplazada por el carbón mineral. El auge de este último se presentó en la primera década del siglo XX, luego de lo cual fue sustituido por el petróleo y el gas natural, quienes presentaban gran poder calorífico y precios más bajos (Henry y Heinke, 1999).

3 Biocombustibles: combustibles orgánicos primarios y/o secundarios derivados de la biomasa que pueden utilizarse para generar energía térmica por combustión o mediante otra tecnología (Trossero y Horta Nogueira, 2001).

A pesar de ello, en la actualidad la biomasa aún continúa jugando un papel destacado como recurso energético en diferentes aplicaciones industriales y hogareñas. Además, el carácter renovable y poco contaminante que tiene y su rol al momento de generar empleo y activar la economía de algunas zonas rurales hacen que la biomasa sea considerada como una clara opción del presente y del futuro.

Generación de la biomasa

La energía emitida por el sol por radiación que incide en la biosfera (zona donde se desarrolla la vida, comprende la capa de la atmósfera entre el nivel del mar y 10 km de altitud y también la zona acuática hasta 10 km de profundidad) (Curtis y otros, 2006) se compone en un 51 % de *radiación infrarroja* (ondas electromagnéticas de longitud de onda entre 0,7 y 100 μm^4), un 40 % de *visible* (ondas electromagnéticas de longitud de onda entre 400 y 700 μm) y un 9 % de *ultravioleta* (ondas electromagnéticas de longitud de onda entre 15 y 400 μm). Sólo el 83 % de esa energía puede ser aprovechada por los vegetales (Carrillo, 2004, p. 6).

La Fotosíntesis

La energía de la biomasa proviene de la energía solar que fue transformada mediante el proceso de la **fotosíntesis** (que podría llamarse *fototransformación*), que resulta ser el proceso más importante de aprovechamiento de energía renovable. Consiste en la captación de los *fotones* (partículas de energía) (Young y Freedman, 2009,) en las hojas de las plantas por parte de las clorofilas y su transformación en energía química, empleada luego en la síntesis de hidratos de carbono a partir del dióxido de carbono y agua con liberación de oxígeno.

Las células no pueden emplear la energía luminosa directamente, sino que la tienen que convertir en energía química (puesta en juego en las uniones entre átomos), que le resulta más fácil de utilizar ya que está continuamente disponible y dentro de la célula.

4 μm : micrómetro, equivale a una millonésima parte del metro (0,000001 metros).

Algo sobre los fotones...

La nueva era de la física comenzó en 1900 con el joven físico alemán Max Planck. Los físicos siempre habían asumido que los valores de la energía eran de carácter continuo, pudiéndose representar por ejemplo por números reales y que en el proceso de radiación se podía intercambiar cualquier cantidad de energía. Al examinar los datos de la radiación que emitían los sólidos calentados a diferentes temperaturas, Planck postuló, a diferencia de sus colegas, que los átomos y las moléculas emiten energía sólo en cantidades discretas (expresadas por números enteros) o cuanta. Por lo tanto la teoría cuántica de Planck revolucionó la física. Sin duda, la serie de investigaciones que siguió a este descubrimiento modificó para siempre el concepto de la naturaleza (Chang, 2007, p.272).

Por otro lado Maxwell, Hertz y otros establecieron que, en determinadas circunstancias, la luz se comporta como una onda electromagnética. Pero esta teoría de la luz no podía explicar el efecto fotoeléctrico (consiste en la emisión de electrones por un metal o fibra de carbono cuando se hace incidir sobre ellos una onda electromagnética), entonces Einstein partió de una extraordinaria hipótesis al considerar que la luz puede también modelizarse como un torrente de partículas. Tomando como punto de partida la teoría cuántica de Planck, Einstein dedujo que cada una de estas partículas, que se conocen como fotones, debe poseer una cantidad de energía "E".

Einstein postuló que la luz consiste en pequeños paquetes de energía llamados fotones o cuantos. El nombre "fotón" fue propuesto en 1926 por el físico Gilbert N. Lewis, quien publicó que los fotones no se podían "crear ni destruir". Aunque la teoría de Lewis nunca fue aceptada, el nuevo nombre "fotón" fue adoptado enseguida por la mayoría de los científicos (Young y Freedman, 2009; Chang, 2007).

El proceso de fotosíntesis puede representarse de manera resumida por la ecuación:



Esto significa que la reacción ocurre de la siguiente manera: cada seis moles⁵ de moléculas de dióxido de carbono (CO₂) que reaccionan químicamente con seis de agua se forman un mol de moléculas de glucosa y seis moles de moléculas de oxígeno.

La fotosíntesis se inicia con la captación de la luz por los pigmentos fotosintéticos accesorios llamados **carotenoides** (pigmentos amarillos y naranjas que absorben radiaciones luminosas en zonas del espectro visible donde no absorben las **clorofilas "a"** y **"b"** de las plantas u **otras** presentes en las algas y bacterias marinas) (González, C. A., González A., S.) y su conversión en energía química en los cloroplastos (orgánulos celulares de las algas y plantas donde ocurre la fotosíntesis) con la intervención de los **pigmentos clorofílicos**. En la etapa siguiente, de naturaleza no fotoquímica (sin la presencia de luz), la energía química generada se utiliza para la síntesis de carbohidratos a partir de dióxido de carbono y agua.

La unidad fotosintética básica está constituida por moléculas de clorofilas y otros pigmentos que actúan como antenas receptoras y por **clorofila "a" especializada**. Los pigmentos receptores se excitan por los fotones absorbidos y transfieren la energía de excitación a otras moléculas vecinas. De esta forma se canaliza la energía luminosa hacia la **clorofila "a" especializada** del centro de reacción, que realmente realiza la conversión de la energía luminosa en energía química (Carrillo, 2004, pp. 7-9).

La fotosíntesis *no es un proceso particularmente eficiente*, pues normalmente el aprovechamiento de la energía solar es como máximo del 15 % (Sánchez Miño, 2003)

La energía química presente en los productores primarios (organismos fotosintéticos) es una pequeña fracción de la energía radiante recibida por los mismos. Los herbívoros incorporan esa energía química, pero gran parte de ella es consumida para mantener sus actividades metabólicas y sólo una pequeña proporción se transforma en enlaces químicos (glucosa, almidón, etc.). Por su parte, los carnívoros al alimentarse de los anteriores incorporan una fracción de ella y por razones similares incorporan una pequeña porción de la misma. Esto significa que cuanto más se avanza en la cadena trófica (es el proceso de transferencia de sustancias nutritivas y energía a través de las especies de un ecosistema, en el que cada uno se alimenta del precedente y es alimento del siguiente (Damin, C. F.)) menor es la fracción de energía aprovechable.

5 Según el Sistema Internacional de Medidas 1 mol es la cantidad de una sustancia que contiene tantos átomos, moléculas u otras partículas como átomos hay exactamente en 12 g del isótopo 12 del carbono. (Chang, 2007.)

Fotosíntesis sin luz solar

Se ha descubierto un tipo de microorganismo perteneciente a la familia de la **bacteria verde del azufre** que vive en las profundidades de los océanos, donde no llega la luz solar y que posee moléculas de clorofila y es capaz de realizar la fotosíntesis. Esto lo logra gracias a la luz emitida por las aperturas hidrotermales cuando brotan líquidos volcánicos de estas. Este descubrimiento replantea nuestra idea de que la fotosíntesis solo puede ocurrir en presencia de la luz del sol.

El descubrimiento ha sido efectuado por un equipo de investigadores encabezado por J. Thomas Beatty de la Universidad de la Columbia Británica, en Canadá.

El hallazgo muestra que la fotosíntesis no está limitada a la superficie de nuestro mundo. Por tanto, nos permite tener en cuenta otros lugares de la Tierra donde encontrar fotosíntesis, así como plantearnos escenarios de otros planetas hasta ahora no considerados. Para conocer más ingresa en: <http://www.solociencia.com/biologia/05081001.htm>

Biosfera y Biomasa

Debido a la distancia que la separa del Sol, la Tierra recibe una **minúscula porción** de la **energía irradiada** por el mismo. Además, sólo parte de la energía solar que llega a las capas externas de la atmósfera terrestre alcanza la biósfera (el resto es transformado en las zonas superiores o se refleja, haciendo que nuestro planeta aparezca brillante a los ojos de un observador exterior) y de ella sólo una fracción se convierte en energía química. Aun así, esta cantidad de energía que llega a esta zona es unas diez mil veces mayor que la que actualmente consume la humanidad.

La energía solar que llega la biósfera es captada y sólo el 0,1 % de ella posibilita la generación de biomasa por los ecosistemas (unidades formadas por componentes bióticos y abióticos relacionados) terrestres y acuáticos.

Aunque el ecosistema acuático cubre aproximadamente las dos terceras partes de la superficie de la Tierra, produce aproximadamente la misma cantidad de biomasa que el terrestre, debido a que éste último presenta una eficiencia de al menos el doble que el marino.

Por otra parte, la energía solar que **fija** (en realidad deberíamos decir que **transforma**) el reino vegetal en su conjunto es 10 veces mayor que la energía con-

sumida (en realidad deberíamos decir **transformada**) por la humanidad y unas 200 veces mayor que la energía *incorporada* (más bien **transferida**) como alimento (Carrillo, 2004,).

Ventajas e inconvenientes de la Biomasa

Ventajas: Algunas de las ventajas ambientales de la utilización de la biomasa con fines energéticos son:

- Disminución de las emisiones de CO₂ ya que, si bien para el aprovechamiento energético de este recurso renovable tengamos que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y CO₂, la cantidad de esta sustancia causante del efecto invernadero se puede considerar que es la misma que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera.
- No emite contaminantes con azufre o nitrógeno, que provocan la “lluvia ácida” (debería hablarse de precipitación ácida ya que puede ser líquida o sólida).
- Permite la introducción de cultivos de gran valor rotacional (la rotación de cultivos consiste en alternar plantas de diferentes familias y con necesidades nutritivas diferentes en un mismo lugar durante distintos ciclos, para evitar el consumo desbalanceado de nutrientes del suelo y que las enfermedades que afectan a un tipo de plantas se perpetúen en un tiempo determinado) frente a monocultivos como los cereales.
- Puede provocar un aumento económico en el medio rural ya que se produce y consume en un ámbito local.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- Al emplear la biomasa como combustible se eliminan residuos, deshechos, aguas residuales y purines (la parte líquida que escurre de todo tipo de desechos de animales) que son fuente de contaminación del subsuelo y de las aguas subterráneas.
- Una de las mayores ventajas de la energía de biomasa supone convertir algún residuo en un recurso energético.

Inconvenientes:

- El aprovechamiento de las Bioenergías tiene un mayor costo de producción inicial frente a la energía empleada de los combustibles fósiles.
- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa

en comparación con los combustibles fósiles.

- La biomasa necesita habitualmente un acondicionamiento o transformación para su utilización posterior, por ejemplo en determinadas aplicaciones puede ser necesario un proceso de secado.
- Los sistemas de alimentación de combustible y eliminación de cenizas son más complejos y requieren mayores costos de operación y mantenimiento (respecto a las que usan un combustible fósil líquido o gaseoso).
- La producción de los cultivos energéticos es estacional. Esto puede ocasionar problemas temporales de disponibilidad energética
- Los cultivos energéticos pueden competir directamente con la industria alimentaria. Su uso inadecuado puede dar lugar al aumento de los precios de los alimentos básicos.
- La producción y uso de la biomasa puede plantear gran cantidad de impactos sobre el medio ambiente si su explotación no se realiza de forma adecuada (SEPECAM, 2008).

Tipos y usos de combustibles de la Biomasa

En la Figura 5.1 se presentan los procesos más empleados a los que se somete a la biomasa para aprovechar su energía y los combustibles obtenidos a partir de ellos.

A continuación te proponemos un recorrido por los procesos presentados en el esquema citado y los diferentes productos factibles de ser obtenidos en cada uno de ellos. Más adelante te brindaremos información más detallada sobre los **“vectores energéticos” biodiesel y biogás** en lo que respecta a su historia, recursos empleados, detalles del proceso, beneficios e inconvenientes.

Usos de biomasa sin transformación previa

En ocasiones se aprovecha energía de la biomasa sin que esta deba sufrir transformaciones significativas. De todas maneras, debe ser recogida y sometida a diversos tratamientos de condicionamiento para su posterior utilización.

El uso de la biomasa sin transformación previa se resume en la combustión directa que suministra energía por calor la cual puede aprovecharse como tal o transformarse en otras.

La combustión directa es el sistema más antiguo de aprovechamiento de energía de la biomasa. En el proceso de combustión, la materia orgánica (combustible) reacciona químicamente con el oxígeno (comburente) en una reacción exotérmica (que cede energía por calor al entorno), obteniéndose CO_2 , H_2O y, si los elementos azufre y nitrógeno forman parte de los reactivos, óxidos de azufre y de nitrógeno.

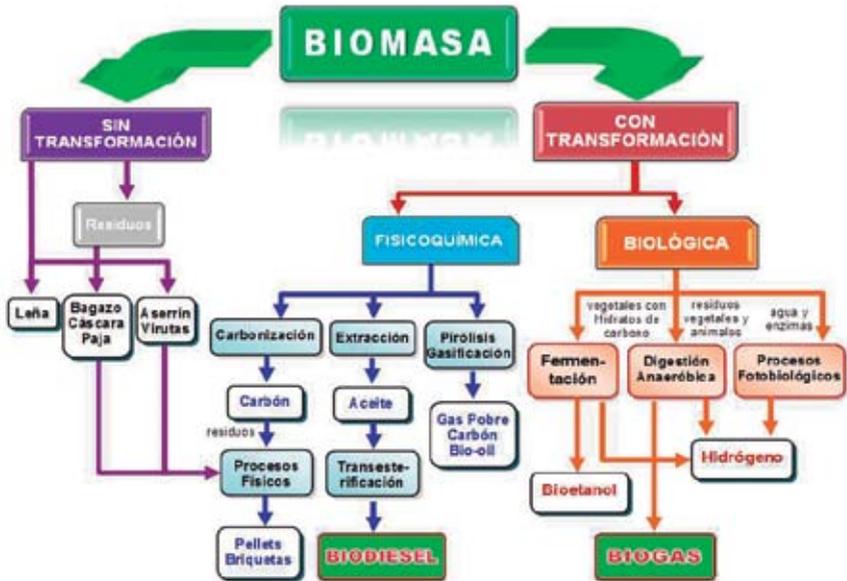


Figura 5.1. Principales procesos y combustibles asociados a la biomasa

Fuente: Esquema de elaboración propia a partir de los presentados en (Hilbert, 2009 y Fernández, J. y Probst, O., 2006)

Los factores que determinan el proceso de combustión son: Características físicas y químicas de la biomasa, el porcentaje de oxígeno empleado y la temperatura a la que se realiza la misma.

Entre las características físicas de la biomasa sobresale, el **grado de humedad**. Se aconseja que la misma sea inferior al 15 % (biomasa seca), ya que la evaporación del agua contenida en la biomasa emplea parte de la energía intercambiada por calor en la combustión. Si se utiliza biomasa seca la proporción aprovechada de la energía es del orden del 80 %, en cambio al utilizar biomasa

húmeda (humedad > 50 %) se logran rendimientos de alrededor del 60 %. Debe mencionarse, además, la granulometría (tamaño de la partícula de biomasa) y la densidad, que influyen en la duración del proceso de combustión y en los equipos necesarios para el tratamiento de acondicionamiento y en la propia combustión.

En cuanto a las características químicas, hay que señalar que el contenido de azufre de la biomasa vegetal es mínimo, por lo que prácticamente no se producen emisiones a la atmósfera de óxidos de azufre y es mínima la liberación de óxidos de nitrógeno. Un parámetro importante en el uso de la biomasa como combustible es el **poder calorífico** que refleja, como se menciona en el Capítulo II, la cantidad aprovechable de la energía intercambiada por calor.

El porcentaje de O_2 influye en la reacción, ya que si éste escasea la reacción no completa, se obtiene carbón (C) y monóxido de carbono (CO), siendo la energía intercambiada menor que en una reacción completa. Por lo tanto, se recomienda un exceso de O_2 para que la combustión se realice de manera completa.

La combustión directa de la biomasa puede llevarse a cabo para calentamiento directo de hogares (chimeneas, hornos de leña, estufas de leña, etc.) o mediante el uso de sistemas de calefacción (calderas), desarrollándose temperatura entre 600 y 1.300 °C. Por otro lado, la energía intercambiada por calor al quemar la biomasa puede ser usada en plantas industriales para calefacción y para producir vapor, que puede ser empleado en la generación de electricidad (Calero Pérez, R. y otros, p. 430).

Las **ventajas** de los sistemas de quema directa son: la biomasa no necesita ser preprocesada, la combustión es inmediata y produce altas temperaturas. Como desventajas podemos mencionar: su eficiencia está alrededor del 20 %, desprende una gran cantidad de CO_2 y ceniza, el mantenimiento de las ollas (cacerolas) debe ser frecuente por la suciedad que se deposita, necesita mantener un flujo constante de biomasa y consume una gran cantidad de la misma.

Transformaciones fisicoquímicas de la biomasa

Carbonización: La madera presenta como componentes principales: celulosa, lignina, hemicelulosa y agua. La celulosa, la lignina y algunos otros componentes están combinados entre sí formando una estructura compleja que se encuentra humedecida⁶ por el agua. La madera secada al aire o “estacionada” contiene

6 En la madera el agua se halla como: agua de constitución: es parte de las sustancias de la madera; agua fija: se encuentra en las paredes y dentro de las células; agua libre: se encuentra fuera de las células,

todavía entre el 12 y el 18 % de agua, expresado en porcentaje del peso de la madera seca al horno (*agua de constitución y agua fija*). La madera recientemente cortada o “no estacionada”, contiene además *agua libre*, llevando el contenido total de agua entre el 40 y el 100 %.

El primer paso, en la carbonización en el horno, es secar la madera a aproximadamente 100 °C, hasta un contenido cero de humedad, se aumenta luego la temperatura de la madera secada al horno a alrededor de 280 °C. La energía para estas etapas proviene de la combustión parcial de parte de la madera cargada en el horno o en la fosa, que es una reacción química en que el sistema absorbe energía como calor (endotérmica).

Cuando la madera está seca y calentada a alrededor de 280 °C, comienza espontáneamente a fraccionarse, produciendo carbón (C) más vapor de H₂O, ácido acético y compuestos químicos más complejos, fundamentalmente en la forma de alquitranes y gases no condensables, que consisten principalmente en H₂, CO y CO₂. Se deja entrar aire en el *horno o fosa de carbonización* para que el O₂ del mismo posibilite que parte de la madera se queme, y el nitrógeno (N₂) de este aire será uno de los componentes de los gases no condensables.

Este proceso de fraccionamiento espontáneo, continúa hasta que queda sólo el residuo negro llamado carbón vegetal. A menos que se proporcione más energía desde el exterior por calor, el proceso se detiene y la temperatura alcanza un máximo de aproximadamente 400 °C. Sin embargo, este carbón contiene todavía apreciables cantidades de residuos alquitranosos, junto con las cenizas de la madera original. Un ulterior calentamiento aumenta el contenido de carbono fijo, eliminando y descomponiendo aún más los alquitranes.

Bajas temperaturas de carbonización dan un mayor rendimiento en carbón vegetal, pero que es de baja calidad, corrosivo por contener alquitranes ácidos, y que cuando se quema emite mucho humo. Un buen carbón vegetal comercial requiere una temperatura final de carbonización de alrededor de 500 °C.

El rendimiento del proceso de elaboración de carbón presenta cierta variación según el tipo de madera. Hay cierta evidencia de que un alto contenido de lignina da un elevado rendimiento de carbón vegetal. Una madera densa (quebracho, carandá) tiende también a dar un carbón denso y fuerte, que es también deseable. Sin embargo, madera muy densa produce a veces carbón desmenuzable puesto que la madera tiende a disgregarse durante la carbonización .

El Chaco duplicó la producción y exportación de carbón vegetal

En este sentido, la exportación del producto se ha duplicado, de modo tal que, comparativamente, en el primer semestre de 2010, se enviaron al exterior 102.203 toneladas, en tanto que en el igual periodo de 2011, se exportaron 188.178 toneladas. Los datos que maneja la subsecretaría de Recursos Naturales consideran que el incremento en la exportación obedece básicamente a que se pusieron en juego reglas de juego claras para el sector, y también los precios que el mercado internacional paga por estos productos.

Los principales destinos a los que Argentina exporta son Italia, España, EEUU, Alemania y Portugal, pero también exporta a Chile, Brasil y Bolivia.

Para conocer más ingresá en: <http://www.defjbe.com.ar/novedades/28-el-chaco-duplico-la-produccion-y-exportacion-de-carbon-vegetal>

Aglomeración: Mediante la aglomeración de biomasa con un bajo contenido de humedad se pueden obtener dos tipos de productos: los *pellets* y las *briquetas*.

Pellets: La pelletización es un proceso de compactación de material vegetal de determinadas características (granulometría y humedad menor del 12 %) para obtener cilindros entre 7 y 22 mm de diámetro y entre 22 y 70 mm de longitud. La compactación facilita la manipulación, disminuye los costos de transporte y aumenta su valor energético por unidad de volumen. Los pellets se fabrican mediante prensado de aserrín o viruta de madera donde la propia lignina hace de aglomerante, por lo que no se necesita ninguna sustancia como pegamento. Este proceso les da una apariencia brillante como si estuviesen barnizados y los hace más densos.

Briquetas: Las briquetas más utilizadas son las de aserrín, virutas, ramas, restos de poda, etc. Los mismos son molidos, secados hasta un 10 % de humedad y luego se compactan para formar briquetas generalmente de formato cilíndrico o cúbico. No utiliza ningún tipo de aglomerante ya que la humedad y la propia lignina de la madera funcionan como pegamento natural (FAO, 1983; Calero Pérez, R. y otros). La materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal, biomasa residual industrial (procedente de aserraderos, fábricas de puertas, fábricas de muebles, fábricas de tableros de partículas, etc.), biomasa residual urbana, carbón vegetal o simplemente una mezcla de azúcar, residuos de pulpa de papel, papel, cáscara de coco, residuos de algodón, cartón, carbón, etc. y se aglomeran

con agua, aunque en algunos casos con otros residuos orgánicos. Este material compactado es utilizado para calefacción, para cocinar y como combustible en la fabricación de ladrillos, cal y cemento, en las metalurgias, secadores, tostadores y demás procesos que consumen grandes cantidades de madera.

El transporte y el manipuleo del carbón vegetal producen como basura entre el 10 y el 20 % de carbonilla que contiene, aparte de partículas de carbón vegetal, arena mineral y arcilla del suelo y de la superficie de la madera y corteza. Este residuo no puede ser quemado con los métodos empleados para el carbón, pero puede aglomerarse y formar briquetas. Desafortunadamente, la experiencia ha demostrado hasta ahora que, si bien es técnicamente posible hacer briquetas con carbonilla, los aspectos económicos generalmente no favorecen, a menos que el precio del carbón en trozos sea muy alto y se obtenga carbonilla a un costo muy bajo.

Para aglomerar carbonilla en briquetas es necesario un adhesivo, una prensa para formar un bloque que luego será pasado por un horno de secado, para curarlo o asentarlo, evaporando el agua para que dicho bloque resulte suficientemente resistente para ser usado en los mismos equipos de combustión que emplean carbón vegetal. El adhesivo deberá preferentemente ser un combustible efectivo a bajas concentraciones. Si bien se puede emplear arcillas muy plásticas, alquitrán o betún, se prefiere el almidón por ser combustible, aunque en ocasiones es caro. Se suele emplear entre el 4 y el 8 % de almidón, el cual se amasa con agua caliente para formar una pasta que se mezcla con la carbonilla secada, molida y tamizada. La mezcla se pasa a una prensa para su aglomerado. Las briquetas se secan en un horno continuo a alrededor de 80° C. El almidón con la pérdida del agua liga el carbón formando trozos que pueden ser manipulados y quemados igual que el carbón vegetal.

Pirólisis: Al someter a la biomasa a algún proceso fisicoquímico en determinadas condiciones de presión y temperatura se obtienen combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Si el proceso se realiza en ausencia de O_2 , se denomina **pirólisis**; si en cambio se realiza en ausencia parcial de O_2 , se llama **gasificación**.

La **pirólisis** consiste en la descomposición térmica de un sólido orgánico por efecto de la temperatura (entre 300 y 600 °C). Se suele llevar a cabo en atmósfera inerte (N_2 o gases sin oxígeno).

La pirólisis permite obtener tres tipos de productos:

*Fracción líquida (aceite de pirólisis de biomasa o **bio-oil**):* mezcla compleja de hidrocarburos entre 5 y 20 átomos de carbono, con una gran proporción de com-

puestos aromáticos⁷ como fenoles, que provienen de la fragmentación de celulosa, hemicelulosa y lignina.

- *Fracción sólida (carbón)*: residuo carbonizado (entre 80 y 90 % de carbono), contiene alquitranes y cenizas.
- *Fracción gaseosa (gas pobre)*: mezcla de hidrocarburos ligeros, fundamentalmente de 1 a 4 átomos de carbono, además de H₂, CO, CO₂ y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Gasificación: Este término involucra a un conjunto de procesos en los que un combustible sólido se pone en contacto con aire u O₂, que se inyectan en un gasificador (recipiente cerrado donde ocurre el proceso) a temperaturas entre 800 y 1.200 °C, obteniéndose un combustible gaseoso que contiene entre otros componentes H₂, CO, CO₂, metano (CH₄) y vapor de agua. Los porcentajes obtenidos de cada uno de estos componentes dependen de las características de los materiales empleados (composición, grado de humedad, tamaño y uniformidad de las partículas, etc.), de las condiciones en que se lleva a cabo el proceso (con aire o con O₂, presión de operación, temperatura del proceso, etc.) y del tipo de gasificador.

Vehículos a gas hace mucho tiempo

La gasificación fue utilizada para la producción de “gas de ciudad” (town gas), que consiste en una mezcla de H₂ y CO, a inicios del siglo XX y que se obtiene de la reacción de agua con carbón calentado y suministro reducido de oxígeno:



agua carbono hidrógeno monóxido de carbono

Durante la Segunda Guerra Mundial, países como Alemania que vieron restringidos el suministro de combustibles, utilizaban los vehículos con pequeños gasificadores de madera (Sánchez Miño, 2003, p. 102).

Hay que señalar que, en los procesos de gasificación, la humedad de la biomasa debe ser baja para evitar que la evaporación del agua emplee parte de la

⁷ Compuesto aromático: sustancia orgánica de cadena cerrada de átomos de carbono unidos por enlaces covalentes simples y dobles (alternados).

energía y reduzca el rendimiento del proceso. Asimismo, la temperatura no debe ser inferior a 700 °C, para obtener un producto con un adecuado rendimiento, pero tampoco ha de ser excesivamente alta (superior a 1.500 °C), ya que se producirían problemas técnicos. Los valores de presiones de trabajo pueden oscilar entre 1 y 30 atmósferas.

El rendimiento global de un proceso de gasificación depende del tipo de combustible producido y los valores más altos son del orden del 85 %.

Cuando la biomasa de baja humedad (inferior a 15 %) se gasifica haciendo circular por el gasificador un pequeño volumen de aire a través de una gran masa en combustión, se obtiene el denominado *gas pobre* (poder calorífico inferior 5,5 MJ/ m³ ⁸). Este gas, debido a su contenido en N₂ y su baja densidad energética (energía que puede aportar 1 metro cúbico de gas) no se suele almacenar, sino que se utiliza directamente en equipos de combustión para generar electricidad utilizando turbinas de gas y generadores eléctricos. (Educasitios2008)

Transesterificación: El proceso de transesterificación consiste en transformar químicamente aceites vegetales o grasas animales en un biocombustible denominado **Biodiesel**.

En esta transformación aceites vegetales nuevos o usados, grasa animal (que son compuestos orgánicos denominados ésteres) se combinan con un alcohol para formar una mezcla de otros ésteres (biodiesel) y glicerol (conocido como glicerina).

El biodiesel se utiliza en *motores de combustión diesel*⁹ ya que tiene un comportamiento similar al del gasoil, presentando algunas ventajas que explicitaremos más adelante.

Este proceso permite el aprovechamiento de recursos naturales y desechos ricos en aceites o grasas.

La glicerina, luego de ser purificada, puede emplearse para fabricar otros productos como el jabón.

Algunos inconvenientes que presenta la obtención del biodiesel son el elevado costo de producción y el uso de aceites comestibles nuevos.

Más adelante se explicarán detalladamente las características de este combustible líquido.

8 MJ/m³: megajoules (equivale a 1.000.000 de joules) por metro cúbico.

9 Motor diesel: es un motor, inventado por el ingeniero alemán Rudolf Diesel en 1892, en el cual el encendido del combustible diesel se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior del cilindro.

Transformaciones biológicas de la biomasa

Las transformaciones de la biomasa mediante microorganismos para la obtención de algún producto combustible dependen de algunos factores como: características del sustrato (en microbiología se define como el medio que contiene las sustancias que utiliza un microorganismo para crecer), temperatura, presencia o ausencia de aire (que permite el desarrollo de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos).

Fermentación Alcohólica: El **bioetanol** es el alcohol etílico puro producido a partir de la **fermentación**¹⁰, generalmente con levaduras, de hidratos de carbono que se encuentran en los productos vegetales como cereales y raíces (que contienen almidón), remolacha azucarera y caña de azúcar (que contienen sacarosa), otras forma de biomasa (que contienen celulosa y hemicelulosa), o bien residuos industriales como la melaza (que es un residuo de la fabricación del **azúcar**¹¹ que contiene sacarosa). En este proceso se forma, además, CO₂.

El etanol, presente por ejemplo en el alcohol medicinal y en las bebidas fermentadas, es un líquido claro de un olor característico que puede disolverse en el agua en cualquier proporción.

El proceso de obtención incluye las siguientes etapas (Bio-Oils; Montoya Rodríguez y Quintero Suárez, 2005):

1. **Extracción y Dilución:** se extrae un jugo azucarado a partir de la materia prima y se adiciona agua para ajustar la concentración de azúcar en la mezcla inicial y, en consecuencia, el porcentaje de alcohol que tendrá el producto fermentado, ya que las levaduras de fermentación pueden morir si el contenido de alcohol es muy alto.
2. **Conversión:** la biomasa se somete a un proceso físico para romper las estructuras celulares. Luego, mediante ácidos o enzimas¹² los hidratos de carbono complejos presentes en la biomasa se transforman en otros simples que puedan ser fermentables.

10 Proceso de transformación de biomoléculas complejas en moléculas sencillas que involucran ciertos microorganismos y que no requiere oxígeno, siendo el producto final un compuesto orgánico que será diferente según el tipo de fermentación.

11 Con **azúcar** hacemos referencia, en esta ocasión, a la sacarosa refinada que se obtiene para consumo humano.

12 Enzimas: son **catalizadores** biológicos. Es decir, son moléculas (generalmente proteínas) que **aceleran** reacciones químicas biológicas que de otra manera no se producirían o lo harían muy lentamente.

3. **Fermentación Alcohólica:** los azúcares (hidratos de carbono simples) se transforman en etanol por acción de levaduras anaerobias (en ausencia de oxígeno). Los microorganismos utilizados para la etapa de fermentación dependen principalmente del tipo de hidratos de carbono disponibles para la transformación, que pueden ser mezclas de sacarosa, glucosa, fructuosa, maltosa, xilosa, galactosa y arabinosa, según el tipo de materia prima utilizada.

¿Alcohol y levadura?

*Hoy, el 95 % del alcohol mundial obtenido por fermentación se produce mediante levaduras, principalmente **Saccharomyces cerevisiae** (que resulta ser la misma familia de levaduras que se emplean para elaborar el pan y la cerveza). También se emplean bacterias del género **Clostridium** y **Zymomonas mobilis**.*

4. **Destilación:** el producto de la fermentación se calienta y se separa etanol con un 4 % de agua (agua de hidratación).
5. **Deshidratación:** se elimina el agua de hidratación hasta alcanzar una concentración > 99 % para que pueda emplearse como combustible en motores.

Las **ventajas** de usar el bioetanol en los motores son:

- Una mejora del índice de octanos (es una medida de la resistencia a la detonación de un combustible, cuanto mayor es su valor mayor de proporción de energía se aprovecha).
- La temperatura de llama en el motor es menor, consiguiéndose una menor pérdida de energía por radiación.
- Un mayor volumen de gases en la combustión, lo que significa una mayor presión y una mayor energía mecánica aprovechada.
- La velocidad de llama en el motor es mayor, esto se traduce en un mejor rendimiento.
- Mejora la biodegradabilidad de la nafta.
- Reduce el número de compuestos aromáticos en la nafta, y por lo tanto, reduce las emisiones de benceno¹³ a la atmósfera (Educasitios2008).

13 El benceno es un hidrocarburo aromático de fórmula molecular C_6H_6 . Produce efectos nocivos en la médula ósea y puede causar anemia. También puede producir hemorragias y daños en el sistema inmunitario.

Los **inconvenientes** del uso de bioetanol son:

- Eleva la presión del vapor en el motor aumentando la posibilidad de autoexplosión y disminuyendo su rendimiento.
- Absorbe fácilmente agua que es indeseable para la combustión.

Henry Ford y el coche de cáñamo

En los albores del automóvil, el **modelo T de Henry Ford** del año 1908 fue diseñado para funcionar con etanol y su aspiración era que el etanol producido a partir de materia prima vegetal renovable, fuese el principal combustible utilizado.

Ford reconoció la gran utilidad de la planta del cáñamo. Construyó un coche de fibra de cáñamo y resina reforzada; además, el combustible era etanol producido a partir de cáñamo.

De todas maneras, la nafta emergió como el combustible de mayor auge para los automóviles en las primeras décadas del siglo XX.

Si querés saber más ingresá en: <https://www.dinafem.org/blog/51-henry-ford-y-el-coche-de-ca-amo>

Bioetanol a partir de las naranjas...

La región española de Valencia es famosa por sus naranjas, y ahora lo será por hacer algo totalmente ecológico con ellas, o mejor dicho con las sobras.

Al parecer allí encontraron la forma de hacer que la pulpa y la cáscara de la naranja produzcan etanol. Este compuesto químico puede ser utilizado como biocombustible, para alimentar automóviles, y así ayudar a frenar el calentamiento global.

Para más datos andá a: <http://www.buscalogratis.com/ecologia-bioetanol-a-partir-de-las-naranjas.htm>

Biometanización: La **biometanización** es una **fermentación**, en la que se utiliza generalmente residuos animales o vegetales, que se realiza en un recipiente cerrado llamado "digestor" y da origen a la producción de un gas combustible denominado **biogás**.

El biogás, constituido básicamente por una mezcla de CH_4 , CO_2 y pequeñas proporciones de SH_2 , es un combustible que puede ser empleado de la misma forma que el gas natural. También puede comprimirse para su uso en vehículos de

transporte, debiéndose eliminar primero el CO₂ (Guardado Chacón, 2006, p. 5).

Además, la biomasa degradada que queda como residuo del proceso, constituye un excelente fertilizante para cultivos.

Desarrollan un auto que funcionaría con biometano producido de las heces fecales

El famoso automóvil Volkswagen "Beetle", ha sido recientemente exhibido en los mostradores y en las calles del Reino Unido. La particularidad de este coche radica en que usa biometano como fuente energética.

Para más detalle ingresa en: <http://www.natura-medioambiental.com/2010/08/desarrollan-un-auto-que-funcionaria-con.html>

En esta digestión anaeróbica (fermentación) participan sucesivamente tres categorías de *bacterias*, cuyas funciones son: 1- hidrólisis de polímeros (celulosa, lípidos, proteínas); 2- producción de ácidos volátiles (principalmente ácido acético), dióxido de carbono; y 3- generación de metano (Guevara Vera, 1996, p. 12).

El gas obtenido es de bajo poder calorífico, pero útil en aplicaciones térmicas en el propio entorno ganadero o agrícola, suministrando energía por radiación y por calor. En el caso de instalaciones de mayor tamaño, se puede llegar a colocar motores diesel de hasta varios cientos de kilovatios de potencia para la generación de electricidad.

Algunas **ventajas** de su empleo son: bajo impacto ambiental, simplicidad con la que operan los biodigestores, producción económica, fácil control de la producción adecuándola a cada momento a la demanda, el residuo digerido seco puede utilizarse como abono.

Algunos **inconvenientes** son: producen muchos residuos que dificultan su uso en turbinas, equipamiento grande, algo caro y experimental en ciertos diseños, se requieren ciertas precauciones de manejo, el proceso es sensible a la temperatura, pH, velocidad de carga, etc.

Fermentación y procesos fotobiológicos: El H₂ en estado puro no está presente en la naturaleza, pero existe asociado a otras estructuras. Por eso debe ser obtenido o generado a partir de otros compuestos químicos. Este es el motivo por el cual pertenece a la categoría de vectores energéticos.

En el capítulo 3 te mencionamos algunas de las maneras de obtener hidrógeno. Te presentamos ahora alternativas de obtención de este gas a partir de procesos biológicos.

Hidrógeno por fermentación

Entre las formas de producir hidrógeno mediante técnicas de fermentación de biomasa se destacan:

Fermentación (digestión anaerobia): se efectúa una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que produce una mezcla de gases (principalmente CH_4 y CO_2) conocida como biogás, y un lodo que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa. Luego el CH_4 del biogás puede ser tratado con cualquiera de los procedimientos de reformado¹⁴ con H_2O agua, con O_2 o combinación de ambos.

Fermentación alcohólica: en principio se obtiene etanol al 99,5 % mediante: Pre-tratamiento de la biomasa; Hidrólisis; Fermentación; Separación y purificación. Sobre el etanol conseguido se puede llevar a cabo un reformado con vapor (se somete a altas temperaturas la mezcla de alcohol y agua, junto con un catalizador - VPR, "Vapour Phase Reforming"), obteniéndose una mezcla de CO_2 e H_2 .

Hidrógeno por procesos fotobiológicos

Algunos organismos como las algas verdes, cianobacterias, bacterias fotosintéticas y bacterias de fermentación oscura pueden actuar como catalizadores biológicos para producir H_2 a partir de agua y ciertas enzimas como la hidrogenasa y la nitrogenasa.

La gran variedad de organismos que pueden ser empleados permite plantear diferentes esquemas para el proceso, el cual podría consistir en dos etapas:

1. **Fotorreactor:** contiene tanto algas verdes, sensibles a la luz visible, como bacterias fotosintéticas y cianobacterias, sensibles a la radiación infrarroja. Además de hidrógeno producen azúcares que son conducidos al fermentador.
2. **Fermentador:** se trata de un digestor anaeróbico que contiene otro tipo de bacterias que producen la fermentación de los azúcares (hidratos de car-

¹⁴ Este proceso consiste en exponer metano con vapor de agua a alta temperatura y moderada presión. Se obtienen como resultado de la reacción química H_2 , CO_2 y a veces CO .

bono simples) enviados desde el fotorreactor y la biomasa alimentada desde el exterior. Como producto de esta fermentación se produce H_2 y otros efluentes que son enviados nuevamente al fotorreactor.

Esta tecnología permitirá producir H_2 a partir de H_2O , luz, enzimas y biomasa, aunque a largo plazo (Sanz Villuendas, 2010,).

Una bacteria hidrogenada

La bacteria Cyanothecce 51142 fue descubierta en el Golfo de México por Louis A. Sherman de la Universidad Purdue.

De este modo, la Cyanothecce fija carbono durante el día, produciendo oxígeno como subproducto, y fija nitrógeno en forma de amoníaco durante la noche, produciendo hidrógeno como subproducto. Por cada molécula de nitrógeno fijada se produce una molécula de hidrógeno.

Si querés saber más ingresá en: <http://www.solociencia.com/quimica/11011203.htm>

Biodiesel como Vector Energético

El **biodiesel** es definido por la American Society for Testing and Materials como **ésteres monoalquílicos**¹⁵ de ácidos grasos de larga cadena derivados de fuentes lipídicas renovables. Concretamente, obtenidos la reacción química de aceites vegetales o grasas animales con alcohol, en presencia de un catalizador¹⁶ Carrillo, 2004).

Es un combustible alternativo, biodegradable y no tóxico, que puede ser usado puro o mezclado con gasoil, en los motores diesel.

Historia del Biodiesel

En ocasiones pensamos que las cuestiones vinculadas a los combustibles

¹⁵ Ésteres monoalquílicos: son sustancias que se forman por reacciones químicas entre un alcohol (normalmente metanol o etanol) y un ácido orgánico (frecuentemente un ácido graso).

¹⁶ Catalizadores: son agentes físicos (calor, luz, corriente eléctrica, etc.) o químicos (sustancias químicas) que aceleran una reacción química.

biodegradables y renovables son algo nuevo. Sin embargo el hoy llamado biodiesel presenta una larga e interesante historia.

La **transesterificación** de los aceites vegetales, ya abordada en este capítulo, fue desarrollada en 1853 por los científicos **E. Duffy** y **J. Patrick**, muchos años antes que el primer motor diesel funcionase.

De la crema de maní al motor

El modelo original de motor de Rudolf Diesel funcionó por primera vez en Augusta (Alemania) el 10 de agosto de 1893, alimentado por aceite de maní; luego fue presentado en la Exposición Mundial de París de 1900. En conmemoración al primer evento, el 10 de agosto se ha declarado “Día Internacional del Biodiesel”. En un discurso de 1912, este inventor sostuvo que el uso de aceites vegetales para el combustible de los motores puede parecer insignificante hoy, pero tales aceites pueden convertirse, con el paso del tiempo, importantes en cuanto a sustitutos del petróleo y del carbón de nuestros días.

Durante los años veinte del siglo pasado, los fabricantes de motores diesel adaptaron sus propulsores para emplear el gasoil (un combustible fósil) que era más económico. Por esto, por muchos años, desapareció la producción de combustibles a partir de biomasa.

El 31 de agosto de 1937, **G. Chavanne** de la Universidad de Bruselas, Bélgica, obtuvo la patente por “transformar aceites vegetales para su uso como combustibles”. La patente describía la **transesterificación** del aceite usando **etanol o metanol** para separar la glicerina de los ácidos grasos y reemplazarla con alcoholes de cadenas cortas. Esta fue la **primera producción de biodiesel**.

En 1977, el científico brasileño **Expedito Parente** inventó y patentó el **primer proceso industrial** de producción de biodiesel. Actualmente su empresa trabaja junto con Boeing y la NASA para certificar bio-querosene.

Entre 1978 y 1996, el National Renewable Energy Laboratory (NREL) estadounidense ha experimentado el uso de algas como recurso para la obtención de biodiesel.

Finalmente en 1983, el proceso de cómo producir biodiesel de calidad fue completado y publicado internacionalmente. **Gaskoks**, una industria austríaca, obtuvo esta tecnología e instaló la **primera fábrica** productora de **biodiesel** en 1987.

En los años noventa, Francia ha lanzado la producción local de biodiesel obtenido de la transesterificación del aceite de colza. Va mezclado con un 5 % en el combustible diesel convencional, y con un 30 % en el caso de vehículos de transporte público. Renault, Peugeot y otros productores han certificado sus motores para la utilización parcial con biodiesel.

Recursos para Biodiesel

El biodiesel se fabrica a partir de triglicéridos (aceites o grasas). Por lo tanto todo recurso con un contenido apreciable de estas sustancias es factible de ser empleado.

Los aceites empleados en algunos casos son un subproducto, por ejemplo los aceites de maíz, algodón y soja, pero en otros es el producto principal, como en el caso de los de girasol y palma. El mejoramiento de la tecnología permite el uso recursos residuales para la producción del biodiesel, por ejemplo el aceite de fritura usado o el sebo bovino de baja calidad (Carrillo, 2004,).

De la colza (*Brassica napus*) o nabo silvestre (*Brassica rapa*) se produce el 80 % del biodiesel mundial (especialmente en Europa), del aceite de girasol más del 10 %, seguido por el aceite de soja (EE.UU.). Otras materias primas son las mezclas de múltiples aceites vegetales para la producción en pequeña escala, además del aceite de lino, el de palma en Malasia y el de *Jatropha curcas* en Nicaragua. En la Argentina casi la totalidad de este biocombustible se obtiene de la soja, aunque existen pequeños emprendimientos que emplean otros recursos como *Jatropha*, colza, tártago, aceites vegetales usados.

Algunas noticias...

26 julio, 2012 - Alemania será el principal importador de biodiesel de argentina. Ingresá en: <http://biodiesel.com.ar/6894/alemania-sera-el-principal-importador-de-biodiesel-de-argentina>

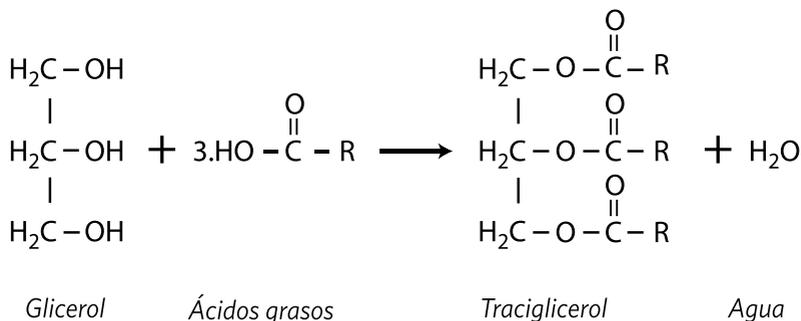
26 julio, 2012 - Biomas Cuba, biodiesel a partir de *Jatropha curcas*. Ingresá en: <http://biodiesel.com.ar/6897/biomas-cuba-biodiesel-a-partir-de-jatropha-curcas>

26 julio, 2012 - Nueva planta de biodiesel en la provincia de Entre Ríos. Ingresá en: <http://biodiesel.com.ar/6903/nueva-planta-de-biodiesel-en-la-provincia-de-entre-rios#more-6903>

27 julio, 2012 - AGD obtuvo tres certificaciones para la fabricación de biocombustibles. Ingresá en: <http://biodiesel.com.ar/6906/agd-obtuvo-tres-certificaciones-para-la-fabricacion-de-biocombustibles#more-6906>

Proceso de elaboración

Entre el 95 % y el 99 % de los aceites y las grasas son triacilglicerol, compuestos que se forman por la combinación del **glicerol** (un alcohol con tres grupos oxhidrilos) y tres **ácidos grasos** (ácidos orgánicos de cadena lineal con un solo grupo carboxilo) idénticos o diferentes.



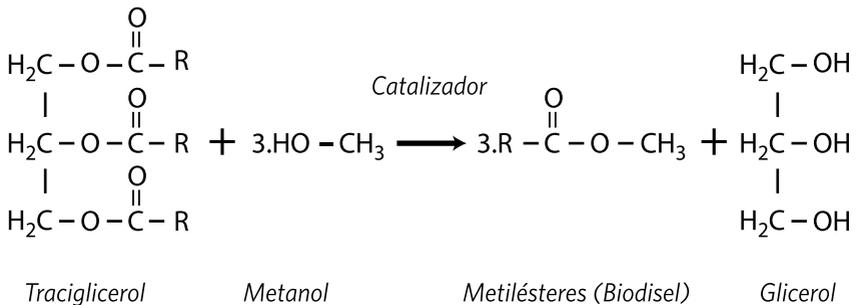
Existen varios métodos para la obtención de biodiesel a partir de los triacilglicerol. Se presentan a continuación los pasos del método de **transesterificación básica homogénea**, que es el más difundido:

- 1. Preparación del metóxido:** el hidróxido de sodio o potasio (NaOH, KOH) se mezcla con el metanol y se produce una reacción química formando el metóxido de sodio o potasio, que es la forma más adecuada para que este alcohol reaccione con los triacilglicerol. Se puede emplear etanol pero éste debe ser de 99,5 grados y el proceso es más lento.
- 2. Preesterificación de los ácidos grasos:** esta etapa se lleva a cabo cuando el aceite posee elevada acidez, mezclándolo con una porción de metóxido, y permite obtener una mezcla de triacilglicerol y metilésteres con un bajo contenido de ácidos grasos libres.
- 3. Transesterificación:** aquí se cargan en un reactor cerrado, generalmente de acero inoxidable, el aceite o grasa, el catalizador y el alcohol (metóxido en esta ocasión). Se somete a una agitación con recirculación y calentamiento y se obtiene una mezcla de metilésteres. Esto puede hacerse en una o dos etapas.
- 4. Separación de fases:** al culminar la reacción se forman dos fases: una inferior rica en agua y glicerol (contiene, además, el catalizador algo de metanol, jabones, etc.) y una superior que contiene el biodiesel y los restos de metanol (con restos de glicerol, catalizador, triglicéridos, jabones y me-

tanol). La separación de las fases puede realizarse por decantación o por centrifugación.

5. **Purificación de la fase con metilésteres:** la fase rica en biodiesel se somete a calentamiento y vacío para separar por evaporación el metanol. Posteriormente se la trasvasa a otro tanque para su lavado con agua levemente acidulada, la cual elimina por solubilidad restos de catalizador, jabón, sales, glicerol y metanol; neutralizando además, el exceso de catalizador empleado. A continuación, los metilésteres lavados son secados por calentamiento en vacío y se filtran. Las aguas de lavado deben tratarse antes de su vertido para minimizar su impacto ambiental.
6. **Purificación de la fase con glicerol:** la fase inferior obtenida en la separación de fases contiene un 50 % de glicerol por lo que debe purificarse para eliminar sustancias indeseables y obtener una mezcla de este alcohol y metanol, la cual se somete luego a una decoloración y destilación. Como resultado se obtiene glicerol purificado, algo de metanol y aguas de lavado que también deben tratarse.
7. **Recuperación y rectificación de metanol:** el metanol recuperado en las dos etapas de purificación se deshidrata y luego se lo recircula en el proceso de producción de biodiesel. Si se emplea etanol en el proceso, esta etapa es más compleja y costosa (Benjumena Hernández y otros, 2009, p. 50).

Resumiendo, en la transesterificación los triacilglicerol reaccionan químicamente con el metanol o etanol, en presencia de un catalizador, para dar los **ésteres alquílicos** (metilésteres o etilésteres) y glicerol. El metanol es el alcohol más comúnmente usado, y un exceso del mismo en presencia de un hidróxido mejora el rendimiento en la formación del biodiesel.



Los catalizadores más utilizados son neutros (óxidos de cinc, calcio o magnesio), básicos (hidróxido de sodio o de potasio) o ácidos (generalmente ácido sulfúrico), dependiendo del método seleccionado.

Beneficios e inconvenientes del biodiesel

El biodiesel se puede emplear puro o bien mezclado en distintas proporciones con diesel de petróleo, que es la forma más habitual de utilización.

Mencionamos aquí los aspectos positivos y las desventajas de su utilización en motores (García Camús y García Laborda, 2006):

Beneficios

- Se obtiene a partir de recursos renovables.
- El biodiesel no es tóxico y es biodegradable en un 98,3 % en 21 días.
- Desde mediados de los años 90, casi todos los fabricantes de vehículos los han acondicionado para el uso de biodiesel.
- Se reducen las emisiones de CO, partículas, hidrocarburos, CO₂ y óxidos de azufre.
- Mayor capacidad lubricante, con lo cual se alarga la vida del motor y reduce su ruido.
- Mayor poder disolvente, lo que mantiene limpio el motor debido a que evita la producción de hollín y la obstrucción de los conductos.
- Aumenta el número de cetanos (indica la resistencia a la detonación de combustibles diesel) mejorando la velocidad de la combustión.

Un éxito para el sistema de transporte del futuro

*Desde el otoño pasado, diez camiones especialmente adaptados han estado rodando y trabajando por las carreteras suecas. No interfieren con el tráfico, ya que no ruedan más despacio que cualquier otro camión, y no parecen diferentes, pero son revolucionarios. La razón es que funcionan con **Bio-DME**, un combustible procedente de biomasa o, en otras palabras, de materias primas renovables y totalmente naturales, lo que reduce las emisiones de dióxido de carbono en un 95 % en comparación con el diesel. Las pruebas de campo están ahora en su ecuador y han cumplido e incluso superado las expectativas.*

*El bio-DME, **dimetileter** procedente de biomasa, es un líquido de los denominados biocombustibles de segunda generación que se puede obtener de la madera o de productos de desecho de la producción agrícola.*

El bio-DME que se está usando en las pruebas de campo de Volvo Trucks procede del licor negro, un producto extraído de la pulpa de la madera. El licor negro también se usa para mover el molino que procesa la pulpa.

Para más detalles ingresá a <http://www.volvotrucks.com/trucks/argentina-market/es-ar/newsmedia/pressreleases/Pages/pressreleases.aspx?pubid=13039>

Inconvenientes

- El biodiesel puro (B100) o la mezcla 90 % diesel y 10 % biodiesel (B10) degrada pinturas, plásticos, como también la goma y el caucho, materiales empleados en la fabricación de los conductos y las juntas del sistema de alimentación de los vehículos.
 - La potencia de los motores de inyección directa disminuye, porque el poder calorífico del biodiesel es menor que el diesel tradicional. Esto aumenta el consumo de combustible por kilómetro recorrido.
 - Las emisiones de óxidos de nitrógeno aumentan, debido a las mayores presiones y temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión.
 - La primera vez que se empieza a consumir Biodiesel, debido a su poder disolvente, puede que se deba realizar el primer cambio de filtros antes de lo normal.
 - El biodiesel tiene un punto de congelación entre 0 °C y -5 °C lo que puede ocasionar inconvenientes en el funcionamiento a bajas temperaturas (considerando que el del gasoil es inferior a -18 °C).
-

Biodiesel a partir de microalgas en la Patagonia

Un proyecto sobre la selección de especies de microalgas como potenciales productoras de lípidos que luego van a ser usados para extraer materia prima para la elaboración de biocombustible es llevado adelante en la Trelew, en la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

El laboratorio donde se realiza el proyecto (del cual participan universidades italianas de Ferrara, Pavia, Padova y Florencia; con el apoyo argentino de grupos de investigación, que han alcanzado avances en esta línea de trabajo, pertenecientes a la Universidad de Buenos Aires, la Universidad Nacional del Sur y la UNPSJB) se encuentra a cargo de la Profesora Isabel Albarracín.

Para más datos ingresá en: <http://biodiesel.com.ar/2228/biodiesel-a-partir-de-microalgas-en-la-patagonia>

Biogás como Vector Energético

Historia del Biogás

Los inicios del biogás se han fijado en 3000 años antes de Cristo puesto que los sumerios ya empleaban la digestión anaerobia de los residuos para su depuración. Hay otras fuentes que citan como primer uso del biogás el calentamiento del agua de los baños públicos en Asiria, allá por el siglo X antes de Cristo. Hay constancia escrita del uso del biogás en Persia en el siglo XVI.

En 1630, el científico Jan Baptista Van Helmont determinó que de la descomposición de la materia orgánica se obtenían unos gases que eran inflamables. En 1682, el químico y físico Robert Boyle y su asistente Denis Papin predijeron la posibilidad de obtener un gas a partir de residuos animales y vegetales en descomposición.

En 1764, el científico e inventor Benjamín Franklin describió que el biogás pudo ser el causante que se prendiera fuego una gran superficie de un brumoso lago poco profundo en New Jersey. De esto informó al científico y filósofo Joseph Priestly en Inglaterra, quien publicó en 1790 sus propias experiencias con el denominado "aire inflamable".

En 1804, John Dalton describió la estructura química del metano y lo asocia con el biogás. En 1808 Humphry Davy, químico inglés, produce gas CH_4 en un laboratorio con estiércol de ganado. Se toma este acontecimiento como el inicio de la investigación en biogás. Es en 1821 cuando el conocido Amedeo Avogadro propone la estructura química final del CH_4 .

En 1884, el famoso Louis Pasteur obtuvo 100 litros de biogás por metro cúbico de estiércol de caballo recogido de las calles de París al mezclarlo con agua a 35 °C.

Entre 1895-96, en la población de Exeter (Inglaterra) las lámparas del alumbrado público comenzaron a ser alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos de su alcantarillado.

Recursos para Biogás



Figura 5.2. BIOGÁS

Fuente: http://farm8.staticflickr.com/7157/6752943515_2317a6e5da.jpg

Los materiales que se pueden usar para la generación biológica de metano son muy diversos: residuos de cosechas: bagazo de caña, malezas, paja, rastrojo de maíz y otros cultivos, forraje deteriorado; restos de origen animal: estiércol, orina, paja de camas de establos, desperdicios de matadero y de pesca; residuos de origen humano: basura, heces, orina; residuos agroindustriales: tortas de oleaginosas, bagazo, salvado de arroz, desperdicios del procesamiento de hortalizas y frutas, desechos de las desmotadoras de algodón e industria textil; mantillo forestal: hojas, cortezas, ramas; restos de plantas acuáticas: algas marinas, camalotes (Carrillo, 2004).

Proceso de elaboración

La fermentación de la materia orgánica para la obtención de biogás es un proceso bioquímico complejo que se desarrolla en tres etapas, utilizando en cada una un grupo de microorganismos específicos.

1. **Solubilización:** en esta etapa la materia orgánica es **hidrolizada** (rotura de enlaces de macromoléculas en presencia de agua) por la acción de **enzimas** producidas por bacterias facultativas (viven tanto en presencia como en ausencia de O_2), transformándose en compuestos simples y solubles tales como: **aminoácidos, glicéridos, pépticos y azúcares**.
2. **Acidogénesis:** en esta etapa los compuestos simples solubles de la primera etapa experimentan un proceso de fermentación por ácido-bacterias que los convierten en ácidos simples de cadena corta como ácido acético, H_2 y CO_2 . Estas bacterias formadoras de ácidos, las cetogénicas y las homocetogénicas son también facultativas.

- 3. Metanogénesis:** en esta etapa los ácidos orgánicos simples producidos en la etapa anterior, constituyen los sustratos para la acción de bacterias metanogénicas, estrictamente anaeróbicas (viven en ausencia de oxígeno) que producen CH_4 .

La acción de las metanobacterias en la tercera etapa es el factor clave para el desarrollo de la fermentación metanogénica, pues estos microorganismos son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura y viven solo en un rango muy estrecho de pH¹⁷. Además son sensibles a la toxicidad de ciertos materiales que reducen o detienen la transformación (ITDG - Soluciones Prácticas 15).

El biogás que resulta de la digestión está compuesto entre un 50 % a un 80 % de CH_4 y entre un 20 % a un 50 % de CO_2 , con pequeñas proporciones de H_2 , CO , O_2 , H_2 y H_2S y N_2 . El lodo que queda como residuo es un excelente fertilizante, no solamente por su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio muy similar al de la tierra natural, sino por las fibras y las sustancias similares al humus que permiten cohesionar a la tierra. (Sánchez Miño, 2003)

Factores que afectan la producción de Biogás

Los factores físico-químicos más importantes, que influyen en este proceso son (ITDG - Soluciones Prácticas 15, Sánchez Miño, 2003, Ortega Rodríguez, 2007):

- **Temperatura:** este proceso puede ocurrir desde los 15 °C hasta los 60 °C. Sin embargo, para que el proceso sea óptimo se requiere temperaturas entre **30** y **60 °C**, dependiendo del tipo de bacterias que se desarrollen.
- **pH:** el carácter ácido o básico del sustrato en digestión (o medio) es controlado por el mismo proceso, siendo el rango óptimo de pH entre 7,0 y 7,2. Cuando la digestión se inicia, el pH toma valores inferiores a 7,0 para luego aumentar hasta **7,0 u 8,0** (medio neutro o levemente básico) por la acción de las bacterias metanogénicas. Si el medio es demasiado ácido, se detiene la actividad de las enzimas y por lo tanto la solubilización; si es demasiado alcalino la fermentación producen mayores proporciones de H_2 y H_2S , quien es tóxico para las bacterias y en consecuencia detiene la digestión.
- **Porcentaje de sólidos:** experimentalmente se ha demostrado que una carga

¹⁷ pH: es el potencial de Hidrógeno, indica si una solución es ácida (entre 0,0 y 7,0) o básica (entre 7,0 y 14).

óptima para la digestión debe contener entre **7 y 9 %** de **sólidos totales**¹⁸. Por esto al material que ingresa al biodigestor debe adicionarse una cierta proporción de agua. Por ejemplo al estiércol fresco de bovino (de 17 a 20 % de sólidos totales) se deberán agregar de 1 a 1,5 litros de agua por cada kilogramo de estiércol; en cambio si se emplean hojas secas (50 % de sólidos totales) deberán agregarse 5,3 litros de agua por cada kilogramo.

- **Tiempo de retención:** las bacterias requieren de un cierto tiempo para transformar la materia orgánica. En un digestor que trabaja por lotes (proceso discontinuo), el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga del sistema y su descarga. En un sistema continuo, el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario alimentar al digestor, ya que se tiene la siguiente relación:

$$\text{Tiempo de retención (días)} = \frac{\text{volumen del digestor (m}^3\text{)}}{\text{volumen de carga diaria (m}^3\text{/día)}}$$

Es decir que para un tiempo de retención de 30 días, cada día se carga 1/30 del volumen total del digestor, y en promedio la materia orgánica y la masa microbiana permanecen 30 días dentro del sistema. Usualmente se trabaja con tiempos de retención entre 20 y 55 días y la alimentación diaria está entre 1 y 5 kg de sólidos totales por metro cúbico de digestor.

- **Relación carbono-nitrógeno:** la cantidad y calidad del biogás producido dependerá de la composición del sustrato utilizado. El carbono y el nitrógeno son los nutrientes¹⁹ principales de las bacterias productoras de CH₄; el carbono es el recurso energético y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación teórica de estos dos elementos en el sustrato es de 30:1 y una relación óptima de 20:8. Si no existe suficiente nitrógeno, las bacterias se multiplican con dificultad y la velocidad de producción de gas es menor que la óptima; si el contenido de este nutriente está en exceso, se produce NH₃, el cual en elevadas concentraciones es tóxico para estos microorganismos e inhibe el proceso. Si hay una alta proporción de carbono en la materia a fermentar, el proceso se hace más lento y tiende a acidificarse el medio.

18 Sólidos totales: en Microbiología es la fracción sólida que compone toda materia orgánica biodegradable.

19 Nutrimiento o nutriente es un elemento o compuesto químico procedente del exterior de la célula y que ésta necesita para realizar sus funciones vitales.

Instalaciones para producir biogás

Están constituidas básicamente por un tanque hermético llamado **biodigestor** donde ocurre la digestión y un depósito de almacenaje de gas denominado **gasógeno**. Estas dos partes pueden estar juntas o separadas y el tanque de gas puede ser de campana fija o flotante. Además, siempre debe estar presente algún sistema para eliminar el H_2S , generalmente a través de la reacción química con óxido férrico (Fe_2O_3) depositado en filtros.

El tipo de biodigestor a emplear y su tamaño dependen de la finalidad principal del proceso: obtener biogás, disminuir la carga contaminante de un efluente u obtener un fertilizante. Los biodigestores pueden ser **discontinuos o continuos**. En los primeros se carga el sustrato en el biodigestor, se deja fermentar entre 20 y 50 días, se recoge la mezcla de gases en el gasómetro, se vacía el biodigestor, se vuelve a cargar con una nueva porción de sustrato y se reinicia el proceso. En los continuos, la digestión y por lo tanto la generación de biogás es permanente, ya que periódicamente se ingresa sustrato al biodigestor y al mismo tiempo se extrae una porción de lodo residual.

Los tipos de instalaciones de trabajo continuo para pequeños o medianos volúmenes de biogás generados (se emplean para uso domiciliario) son los siguientes (ITDG - Soluciones Prácticas 8, Varnero Moreno, 2011):

- **Biodigestores tipo Hindú**

Estos digestores, también denominados de **tambor flotante**, en general son verticales y están enterrados (como un pozo). Se cargan una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación.

El gasómetro está integrado al sistema, o sea que, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja. Con esta campana se logra una presión constante del biogás, lo que es deseable para la alimentación de los equipos de combustión. La campana también permite al rompimiento de la espuma o costra que se forma en la superficie del sustrato líquido dentro del biodigestor.

La entrada de la carga diaria por gravedad hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su recolección. Posee una pared central para aumentar el tiempo de retención del sustrato.

Este tipo de digestores presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 y 1,0 volúmenes de gas por volumen de digestor por día.

- **Biodigestores tipo Chino**

Los digestores de este tipo, llamados también *de domo fija*, son tanques cilíndricos con el techo en forma de domo y se construyen totalmente enterrados.

Al iniciar el proceso, el digestor se llena con sustrato mezclados con lodos activos de otro digestor (que contienen acidogénicas y bacterias metanogénicas), a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado, es alimentado diariamente a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor. En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, aumenta su presión forzando al líquido, en los tubos de entrada y salida a subir. Se generan entre 0,15 y 0,20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el biogás y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores.

Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, y una o dos veces al año el digestor se vacía completamente aplicando el residuo (sólido) a los campos de cultivo. A pesar que el digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de fertilizante, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días.

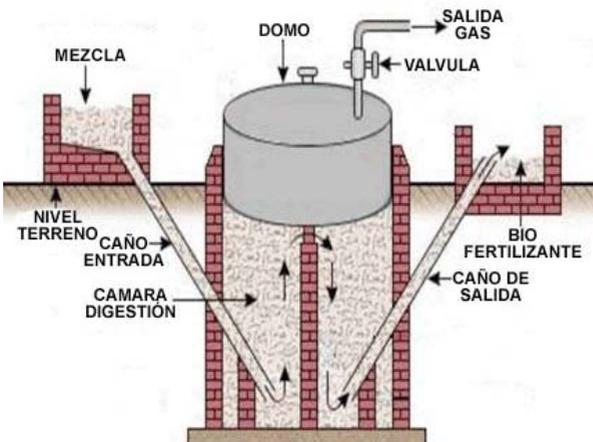


Figura 5.3a Biodigestores continuos o semicontinuos de uso residencial de tambor flotante (Hindú)

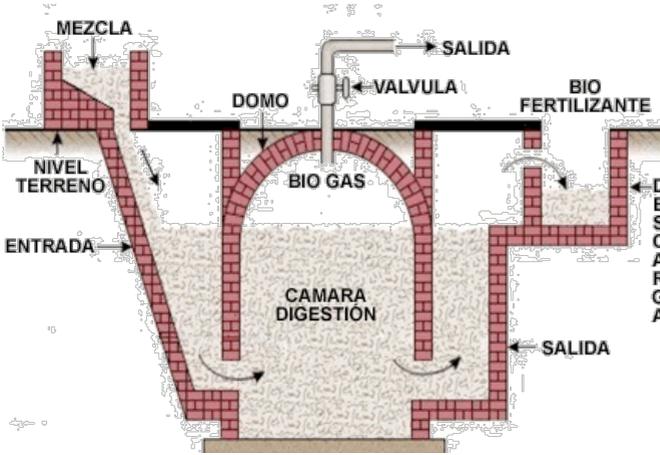


Figura 5.3b Biodigestores continuos o semicontinuos de uso residencial de domo fijo (Chino)

Fuente: http://www.oni.escolas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c3.htm

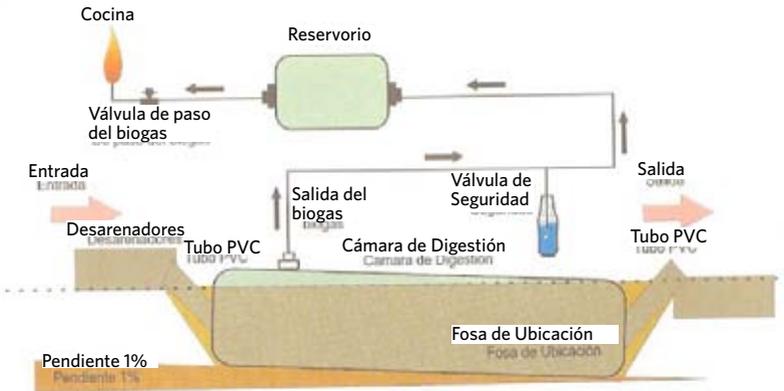


Figura 5.3C. Horizontal (tipo bolsa)

Fuente: <http://2.bp.blogspot.com/-JVA9T6Dqhqc/T3ik5qj52ol/AAAAAAAAADs/nZC4tZITvoo/s728/Sin%2Bnombre.jpg>

• **Biodigestores horizontales**

Estos digestores, conocidos como *tipo bolsa*, se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en "V". Se operan a régimen semi-continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la

intemperie. Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática.

En los últimos años se empleó en Argentina con mayor frecuencia el biodigestor tipo hindú por su mayor eficiencia y por la presión constante del biogás generado. Sin embargo, está siendo desplazado por el tipo bolsa que requiere una menor inversión y permite almacenar mayor volumen de biogás.

Beneficios y desventajas del biogás

Beneficios

- El biogás se produce continuamente sin variaciones significativas como en el caso de la energía eólica y solar.
- Se transforman residuos orgánicos en fertilizante de alta calidad, disminuyendo el efecto tóxico del estiércol sobre los vegetales.
- Mejora de las condiciones higiénicas de residuos biodegradables a través de la reducción de patógenos (que provocan alguna enfermedad), huevos de gusanos y moscas, de semillas de malas hierbas no digeridas por los animales.
- Se transforma nitrógeno orgánico en amoníaco, que aumenta la disponibilidad de este elemento para las plantas.
- Se reducen las sustancias volátiles y los olores penetrantes (por ejemplo ácido butírico) emitidos por los residuos.
- Posibilita el desarrollo de puestos de trabajo rurales y descentraliza la generación energética.

Desventajas:

- El equipamiento requerido es grande, algo caro y experimental en ciertos diseños.
- Se requieren ciertas precauciones de manejo.
- El proceso es sensible a la temperatura, pH, velocidad de carga y cambios en el tipo de carga.
- La carga del sustrato requiere una selección y clasificación del residuo.
- Puede presentar fluctuaciones en la producción de energía debido a la disponibilidad variable de los recursos naturales.



CAPÍTULO VI

Ideas para la construcción del concepto de energía en la formación docente inicial

Las ideas e intenciones con las que presentamos este capítulo

Después del recorrido conceptual, histórico y social sobre el concepto de energía, los recursos asociados a ella y las posibilidades argentinas de aprovecharlos en pequeña escala para su transformación y uso social, nos parece oportuno presentar algunas ideas para elaborar proyectos y secuencias de enseñanza posibles para este concepto tan familiar en nuestra sociedad actual.

Sostenemos que no es oportuno construir el concepto de energía mediante definiciones a ser memorizadas y menos proporcionando una única y hegemónica. . De adoptar una definición para la energía y presentarla, será necesario hacerlo luego de trabajar sus características esenciales y relaciones con otros conceptos científicos y tecnológicos, para delimitar correctamente los alcances de la definición que se adopte. Tal ha sido la intención de este texto desde el inicio.

Consideramos entonces que para su enseñanza es fundamental distinguir y desarrollar en paralelo las cuatro características o aspectos básicos asociados al concepto de energía, con los cuales acuerda actualmente la mayoría de los científicos y especialistas en enseñanza de las ciencias: **transformación, transferencia o transmisión, conservación y degradación.**

Con esto queremos enfatizar que, didácticamente, cuando pensamos en energía, es muy conveniente asociarla inicialmente, antes de “definirla” (como lo hemos hecho en el primer capítulo), con las posibles formas en que puede

imaginarse¹ con los modos de transferirla entre un sistema y su entorno, con el principio científico relacionado con su conservación y también con el hecho de que aunque tengamos la misma cantidad de energía, en cada transformación, la disponibilidad (o “calidad”) para transformarla se va reduciendo.

Por otra parte, destacamos que para evaluar la transferencia, hay que definir y especificar con detalle cuál es el *sistema* que estamos imaginando, cuál el *entorno* que está en “*interacción directa*” con él y cuál es la *pared* o *frontera* que separa a ambos, y considerar los modos en los que se puede dar esa transferencia: *trabajo*, *calor* y *radiación*.

Asimismo, para todo *sistema* en un instante y configuración dados se puede calcular y definir una función de su estado que hemos denominado *energía interna*, que no es una nueva “forma” de energía sino que corresponde a la energía que se le asigna al sistema que estudiamos y permite diferenciarla de la que se está transfiriendo al entorno por alguno de los tres modos indicados. “Recordemos que la elección de un sistema es muy antojadiza, pues el especialista toma el aspecto de la realidad que más le atrae, con los límites y las condiciones que más se adaptan a lo que desea estudiar, e intenta analizarlo con las herramientas conceptuales que él maneja”(Cerejido, M., 2009))

En definitiva, todas nuestras actividades de enseñanza y nuestras intervenciones áulicas, deberían destacar y analizar con los estudiantes las cuatro características relevantes, que tienen sentido después de establecer una frontera que separa nuestro sistema del entorno con el que interactúa.

Como se habrá podido apreciar con la lectura de los diversos capítulos, cada uno de los que escribimos este libro tiene un lenguaje y estilo diferente de decir las cosas; esto también ocurre en cada disciplina, ciencia o contexto. Focalizando esta característica, consideramos también que como recurso didáctico es posible abordar el tema complejo de la *energía* empleando expresiones o conceptos y modelos diversos, los cuales son válidos dentro de ciertos límites.

Estas situaciones ocurren frecuentemente en la actualidad, durante el proceso de elaboración de conocimiento científico en torno a problemas concretos, como puede ser el de la energía y sus usos. En este sentido, y dado que quienes escribimos tenemos formaciones disciplinares diferentes, es interesante y didácticamente factible presentar temas transversales como el de la energía, como un

1 Incluyendo en ellas las postulaciones contemporáneas, por ejemplo debidas a la teoría de la relatividad y el modelo estándar de partículas elementales (http://www.particleadventure.org/spanish/standard_models.html)

verdadero trabajo interdisciplinar en torno a un determinado problema definido por nuestras elecciones particulares. Esta actitud dialógica entre las personas, permite dotar de pertinencia y validez al conocimiento que se genera, tendiente a alcanzar consensos. (Fourez, G. 1998)

Con estas ideas de fondo, que han sido retomadas numerosas veces en abordajes didácticos constructivistas y tienen en cuenta las ideas alternativas de los alumnos a la hora de construir nuevos conocimientos y aprender significativamente, presentaremos algunas propuestas de enseñanza, la mayoría de las cuales tienen sus bases en investigaciones educativas. Consideramos pertinente tal presentación dado que es si bien hace ya más de 20 años se vienen produciendo investigaciones sobre el tema de energía y se siguen publicando trabajos al respecto, las aulas reales aún no acusan una aplicación generalizada de estas propuestas.

1. Propuestas didácticas con énfasis en los conceptos

Este conjunto de actividades pretende revisar y profundizar el campo semántico del concepto de energía y otros asociados a este, con el fin de diferenciar progresivamente las ideas, reconciliarlas de forma integral y clarificar cualitativamente las relaciones entre ellas, en pos de una comprensión significativa del tema tratado en este texto.

1.1. ¿Qué significados le asignamos a la energía? ¿Cómo evolucionan?

La energía es un concepto polisémico, es decir, admite numerosos significados según los diferentes contextos y elecciones de las personas en que lo utilizan.

Proponemos esta actividad en **dos momentos**; uno para reflexión de los lectores y otro para trabajo con estudiantes durante la formación docente (factible también de ser transferido contextualmente al nivel secundario).

En ambos casos se persigue la idea de recorrer reflexivamente parte de este campo semántico y “poner en tensión” los significados que vehiculiza nuestro lenguaje coloquial con el concepto científico de energía, explorando sobre los posibles problemas conceptuales para su enseñanza y alcances del significado del concepto.

Primer momento:

Intente lo siguiente:

- A. Que los estudiantes escriban un pequeño párrafo con lo que para ellos constituye una definición de energía aceptable y con la que de hecho se manejan diariamente, por ejemplo, cuando leen o escuchan una noticia sobre la crisis energética, sobre la energía que gastamos inútilmente en una discusión acalorada o cuando participan de una clase sobre energía.
- B. Ahora lea con detalle cada una de las siguientes expresiones, que son un abanico de las ideas sobre la energía que usualmente disponemos las personas, en los más variados contextos:
 1. Las personas y objetos poseen y gastan energía
 2. La energía puede pasar de un cuerpo a otro
 3. La energía es como un tipo de combustible
 4. La energía es la capacidad de realizar un trabajo
 5. La energía es la capacidad de producir cambios
 6. La energía cinética de un cuerpo se debe a su movimiento
 7. Todo cuerpo a una cierta altura tiene energía potencial
 8. El calor es una forma de energía o energía en tránsito
 9. La luz es una forma de energía
 10. La energía es una sola pero se presenta en muchísimas formas
 11. Los combustibles, alimentos y enlaces químicos almacenan energía
 12. La corriente eléctrica transporta energía
 13. La energía se paga y la venden las compañías de servicios
 14. La energía se crea sólo en ciertos procesos
 15. La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.
 16. Ciertos cristales curativos emiten energía positiva
 17. La energía circula por ciertos canales energéticos del cuerpo
 18. La crisis energética se debe a la mala administración de la energía
 19. Se puede y debe ahorrar energía
 20. La energía no es algo perceptible, sino una magnitud física que puede ser calculada para cada caso, utilizando un conjunto complejo de reglas
 21. Hay fuentes de energía renovables (inagotables) y otras, no renovables, que si no las cuidamos se agotan
 22. Existen energías limpias, verdes, y otras que no lo son

23. Existe energía oscura (“dark energy”) en el cosmos
24. Potencia y energía son sinónimos

- C Realice una confrontación entre la definición del comienzo con las frases anteriores, explorando similitudes y diferencias, con el ánimo de diferenciar unas de otras y distinguir aquellas frases que, según tus fundamentos, concuerden mejor con las ideas de sus estudiantes.

Segundo Momento:

Sobre la base de las reflexiones y ajustes que surgieron a partir del momento anterior, es factible plantear el siguiente trabajo, de características similares, que guarda la estructura de una propuesta constructivista. Buscar en al menos cinco textos que se aboquen de manera diferente al tema energía, aquellas definiciones que los autores presentan y transcribirlas. (No olvidar citar los textos y autores)

- Formular ahora, una vez más por escrito, el acuerdo o desacuerdo con dichas definiciones o los términos asociados a ellas, fundamentándolo.
- Compartir esta producción con algunos compañeros, tratando de llegar a consensos sobre el significado del concepto de energía, claro está, aclarando y respetando los distintos contextos y situaciones. Anotar cómo se da ese proceso de intercambio de ideas y qué características tiene (se imponen los que hablan, los que “saben”, los que son especialistas, los que “la luchan”, lo que tienen “fama de que saben”, los que utilizan criterios “objetivos” y “lógicos”, etc.)
- Buscar en la Web algún foro sobre la energía y su utilización en la sociedad actual y la salud (tratando de participar y socializando luego las intervenciones con los compañeros de clase), defendiendo posturas y acordando con otras personas ajenas a la clase sobre la pertinencia o no de la utilización del concepto y como esto afecta las interpretaciones y juicios que se abren al respecto del tema abordado en el foro.
- Por último, regresar a las primeras definiciones escritas y reflexionar acerca de cómo se expandió o no el campo semántico del concepto, discutiendo sobre que nuevas dimensiones deberían considerarse añadiendo tal o cual contexto de uso.

1.2. Energía en los textos referidos a los fenómenos térmicos ¿un único lenguaje?

La mayoría de los autores de libros de texto de física básica para el nivel superior, ya sea por una cuestión de tradición o estilo personal, suelen seguir un ordenamiento histórico en su exposición de los fenómenos térmicos y los aspectos de transferencia, conservación y degradación de la energía. Sin embargo, en un intento por ajustarse tanto a las corrientes modernas de pensamiento científico como a los tiempos didácticos, que por lo general son insuficientes para cubrir todos los temas de esta rama de la física, escriben “mezclando” los enfoques de la termodinámica clásica y la mecánica estadística. En el capítulo primero hemos focalizado en la primera de estas visiones; sin embargo nos parece de utilidad indagar los lenguajes de uno y otro enfoques, a los fines de proporcionar explicaciones variadas y científicamente válidas para la energía, cuando de enseñar se trata².

Proponemos la siguiente actividad para explorar la variedad lingüística de los textos sobre las definiciones y aspectos de la energía en el contexto termodinámico:

- “Un vistazo general” a los textos de Física Básica, Química o Biología que tenga a su alcance e introduzcan la energía o conceptos relacionados con ella en el contexto de la termodinámica o fenómenos térmicos. Observe los títulos de los capítulos, de las secciones que se refieren a estos temas y los conceptos principales involucrados. Anótelos armando un cuadro e intente “hacer un esquema mental” de cómo “se recorren” los fenómenos térmicos y el concepto de energía en los mismos.
- Piense sobre la “secuencia histórica” en los textos (en algunos está más explícita que en otros). Luego, en base a los dos enfoques para encarar los fenómenos térmicos que mencionamos antes (termodinámica clásica y mecánica estadística), intente dar cuenta de la “mezcla” de lenguajes que realizan los autores, en función de sus objetivos de enseñanza y expectativas de aprendizajes. Finalmente fíjese si la “mezcla” es intencional en el sentido

2 Esta modalidad, por otro lado, es bastante común en todas las presentaciones textuales del nivel. Por lo tanto, como ambos enfoques perduran en la actualidad en la ciencia y no existen aún reglas didácticas específicas para decidir entre uno u otro más que los “gustos personales” o la “fascinación” de las explicaciones, consideraremos aquí que dichos enfoques son complementarios (como de hecho son considerados en la Física)

didáctico, es decir, el autor la usa a los fines explicativos y complementarios, o bien son las usa desde un sentido común, dando por hecho que el lector sobrentiende el cambio de contexto lingüístico.

1.3. ¿La energía está relacionada con los sistemas o con su estado?

Es muy común decir, leer o escuchar que un cuerpo o sistema “posee” energía. En este sentido de posesión, es que luego está permitido decir que, gracias a la energía que tiene, un cuerpo es “capaz” de realizar cambios sobre otros cuerpos (o sobre sí mismo), o más restringidamente, realizar “trabajo”. Es decir, la energía que se posee es “la causa” de que las situaciones sucedan.

Otra cosa es decir que un cuerpo se encuentra en un determinado estado de energía (Sefton,2004). En esta manera expresarnos, la energía no es causa de nada, sino un concepto que nos permite rotular, describir y eventualmente predecir (por medio de sus aspectos) las diversas situaciones (o estados) por las cuales atraviesa el sistema en su evolución temporal. Desde este punto de vista, el rol de la energía es análogo al del concepto de velocidad, cuando se caracteriza el estado de movimiento de un cuerpo.

En base al texto anterior, es posible trabajar con lo estudiantes de profesorado las siguientes consignas:

- Argumentar por escrito a favor o en contra de cada una de estas dos posturas por escrito.
- Consultar los libros de texto utilizados en clase u otros seleccionados por el docente a los fines de ver si aparece la diferenciación de la energía como una variable de estado, de carácter extensivo, haciendo hincapié en su carácter sistémico
- Discutir en grupos acerca de la pertinencia de incorporar o no este rasgo esencial de la energía en su enseñanza en el nivel superior o secundario.
- En la medida de lo posible, proponer durante el desarrollo el tema un foro de debate en el campus del instituto sobre este aspecto y analizar las respuestas en clase.
- Finalmente, acordar con el docente una postura al respecto factible de ser incluida en una secuencia para su enseñanza a nivel secundario.

Atención: Para esta actividad no confundir estado de energía del sistema, con estado de agregación de la materia (o fase).

Las consignas tercera y cuarta apuntan a que los estudiantes, junto con sus docentes comiencen a “sentirse parte” en la generación de conocimiento escolar en aspectos particulares, pero esenciales de un concepto científico.

1.4. Rescatando el carácter sistémico de la energía

Nos parece importante insistir en este punto relacionado al concepto de energía, sobre el cual llaman la atención varios estudios sobre enseñanza de la misma en contextos escolares. Reivindicamos aquí lo expresado en uno de ellos, ya citado, (Domenech y otros 2007) cuando comenta que varios estudios han demostrado que la mayoría de los alumnos atribuyen energía a cuerpos específicos y no al sistema formado por el conjunto de objetos que interactúan. La energía es una propiedad de los sistemas y hablar acerca de la energía de un objeto aislado carece de significado científico.

Energía Potencial: Cuando, por ejemplo, se habla de la energía potencial gravitatoria de una piedra, sabemos que se debe a la interacción entre la piedra y la tierra, y que por lo tanto esta energía pertenece al sistema formado por ambos, no sólo a la piedra. Si consideramos un cuerpo que se encuentra aislado, lo suficientemente lejos de otras personas para tener una interacción gravitatoria insignificante, queda claro que no se puede hablar de la energía gravitacional. La energía potencial siempre aparece en el contexto de un par (o conjunto) de los objetos que interactúan. No hay ninguna razón para atribuirla exclusivamente a cualquiera de los objetos.

Energía Cinética: Todos los estudios que hemos encontrado en conceptos erróneos de los alumnos en relación con el carácter sistémico de la energía se refieren a las energías potenciales. No hemos encontrado ninguna referencia a consideraciones similares acerca de la energía cinética. Por el contrario, incluso libros de texto de nivel superior siempre se refieren a la energía cinética de un objeto, sin explicar que esta energía expresa la posibilidad de este objeto para interactuar con otros objetos, porque se está moviendo hacia ellos con una determinada velocidad. En resumen, consideramos que la energía cinética debe ser tomada también como una propiedad del sistema formado por objetos que pueden interactuar entre sí. Hacemos hincapié en la importancia de aclarar el carácter sistémico de la energía cinética, ya que este aspecto no se aborda en la literatura y no se acepta fácilmente: el debate incluso provoca rechazo inicial de los profesores e incluso los profesores universitarios.

Para superar la concepción de la energía como un fluido físico que los objetos poseen, es necesario llevar a cabo un análisis cualitativo de los procesos que tienen lugar durante las transformaciones de un sistema.

Esto implica que el carácter sistémico de la energía debe aclararse en todos los casos y así permitir superar un segundo obstáculo: **la noción de los valores absolutos de energía.**

No tiene sentido hablar de la energía de un sistema en términos absolutos: *sólo podemos determinar sus variaciones* en un determinado proceso se lleva a cabo. Esto es algo que generalmente se señala en la literatura, a pesar de que el uso frecuente de los valores relativos (que corresponde a la asignación arbitraria de energía cero a una determinada configuración del sistema) puede confundir a los alumnos, que toman estos valores relativos como absolutos, a menos que se insista suficientemente en el carácter relativo de las cantidades utilizadas.

Esto es importante porque la idea errónea de los valores absolutos, refuerza nuevamente la interpretación de la energía como algo poseído por los mismos objetos.

Las dificultades que enfrentan los alumnos (¡y los profesores!) cuando se trata de entender y usar significativamente el concepto de energía, afecta también a conceptos relacionados como trabajo y calor."

Para trabajar este carácter sistémico con los estudiantes de nivel superior, podríamos plantearles un problema aparentemente "simple", comenzar a esbozar una respuesta desde el punto de vista sistémico y trabajar con ellos la forma de completar la resolución del mismo.

Una situación posible para experimentar en la formación docente y luego ser analizada: *Trabajar un análisis energético desde el punto de vista sistémico, mediante un ejemplo simple (aunque idealizado como toda aproximación a la realidad): un niño en la cima de un tobogán con rampa de acero "bien pulidito" "se deja" deslizar en interacción con el aire, la tierra y la rampa del tobogán. ¿Qué transformaciones ocurrirían en la energía del sistema (niño-rampa/tierra/aire)?*

Podemos realizar un primer análisis simple considerando al "niño" como una parte del sistema que nos interesa (al hacer esto estamos modelizando al niño como un todo y no podemos "ver" en su interior). La rampa, la tierra y el aire serían las otras partes que están en interacción directa con él (dentro de las cuales tampoco nos permitimos "mirar" en este análisis). Al comienzo, solo será necesario considerar energías potenciales debidas a los lugares relativos en que se encuentran las partes en interacción, eligiendo un marco de referencia. Así tendremos *energías potenciales* del niño, el aire que por simplicidad imaginaremos

“quieto”, la tierra y la rampa, todas partes del sistema en interacción mutua. Si ahora queremos focalizar la atención en el movimiento del niño cuando se desliza hasta llegar a la base y calcular la energía para analizar su conservación o degradación, deberemos considerar transferencias y transformaciones, por ejemplo de energía potencial en energía cinética. A tal fin debemos especificar un sistema de referencia tanto para las posiciones como para las velocidades. Si somos cuidadosos podremos afirmar que las variaciones de la energía cinética del niño, con respecto a un sistema de referencia solidario al piso, igualan a la variación de energía potencial del mismo. Ahora bien, ¿qué ocurriría con las variaciones de energía de las otras partes del sistema?

1.5. ¿Cómo interactúa el sistema con el medio?

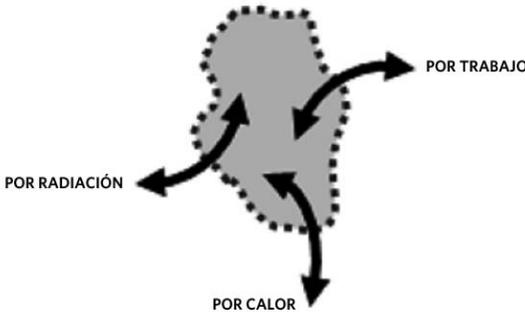


Figura 6.1 Interacción de un sistema
Fuente: del autorw

La **frontera** de sistema, siempre imaginaria y arbitraria en el sentido que está definida por el observador, podemos asociarla con aproximaciones adecuadas a superficies reales, rígidas o flexibles. Esta separa al **sistema** bajo estudio del **medio** en que está inserto e interactúa directamente con él.

Si interactúa con el entorno, el sistema puede ser abierto o cerrado, según entre o salga masa.

A través de la frontera, el sistema interactúa con el medio básicamente de tres modos: por radiación, calor o trabajo, intercambiando energía (claro en el caso que no se trate de un sistema aislado). Recordemos que:

Radiación: No requiere ningún medio material. Sólo por estar a cierta temperatura el cuerpo emite ondas electromagnéticas que portan energía.

Calor: Para transferir energía de este modo se requiere contacto térmico entre sistema y entorno (pared diatérmica) y diferencia de temperatura entre ambos.

Trabajo: En este caso, debe existir una fuerza neta y desplazamiento o deformación en la dirección de esa fuerza para transmitir energía.

Para las situaciones que se mencionan:

- Identificar y representar gráficamente una posible **frontera**, un **sistema** y un **medio**.
- Destacar con un color específico la frontera elegida.
- Transcribir la situación cotidiana enunciada en términos científicos, dejando claro los modelos que se adoptan y sus limitaciones.
- Escribir las especificaciones que cumplen sistema, frontera y entorno, de manera que queden definidos adecuadamente, con la menor ambigüedad posible.
- Analizar si el sistema elegido es **abierto** o **cerrado** y si intercambia energía con el medio por **radiación, calor, trabajo**; no excluyendo la presencia de todos o sólo algunos de estos modos. Dejar por escrito las conclusiones y debatirlas con otros compañeros.
- Analizar las transformaciones de energía que se producen en cada situación.

Situaciones:

- Se infla un globo.
- Se calienta una taza con leche en el microondas.
- Se lleva hacia atrás lo máximo posible el émbolo de una jeringa (sin aguja). Se tapa el pico con el dedo y se empuja el émbolo lo más que se pueda. Sin sacar el dedo, soltar el émbolo.
- Se coloca sobre la mesa una botella cerrada de gaseosa que se saca de la heladera.
- Se frota rápidamente una mano sobre la otra.
- Se coloca en la cama la bolsa con agua caliente en una fría noche de invierno.
- La tapa de la pava se levanta mientras el agua hierve.
- Los cubitos de hielo se derriten después de estar largo tiempo en la conservadora.
- Un envase de leche se coloca en la heladera.
- El agua caliente para el mate que se conserva en el termo de acero inoxidable.
- Se logra un mismo cambio de temperatura en una masa de agua encerrada en un recipiente de vidrio (cambio que se puede medir con un termómetro), mediante los siguientes procesos:
 - Se coloca el recipiente sobre una llama
 - Se agita el agua con una cuchara lo más intensamente posible

- Se coloca el recipiente en las proximidades de una lámpara o un hogar encendido
- Se coloca un calentador eléctrico en el agua.

2. Propuestas didácticas con énfasis en procesos analíticos y experimentales

Aquí presentamos variantes para la enseñanza de la energía que enfocan competencias no exclusivamente vinculadas al trabajo cognitivo conceptual. Si bien está claro para nosotros que es imposible “separar” competencias de modo exclusivo, se presentan situaciones que no sólo refuercen el trabajo conceptual verbal, relacionado con definiciones o razonamientos lógicos vinculados a los significados de la energía, sino que los ponga en juego frente a posibles aplicaciones didácticas analíticas (con y sin recursos Tic) y experimentales.

2.1. Una analogía que “no debe utilizarse” sin un análisis crítico de sus límites para establecer comparaciones

Si bien las analogías son recursos inigualables en casos en que se deben aprender conceptos abstractos como el de la energía, es tanto o más valioso que su uso reconocer las limitaciones didácticas de las mismas con los estudiantes durante su formación como profesores, a los fines de familiarizarlos con un meta-análisis de estos recursos tan extendidos sobre todo a nivel secundario. El ítem 3 de la siguiente actividad intenta que el docente realice con sus estudiantes de nivel superior dicha meta-reflexión didáctica.

Recursos: *Dos recipientes transparentes de distintos tamaños, agua, colorante, manguera.*

1. Disponer en el aula de dos recipientes transparentes de la misma altura, uno lleno de agua coloreada y el otro vacío. Se utilizará una manguera para conectar ambos. El agua debería fluir desde el recipiente lleno al vacío hasta que el líquido en ambos recipientes quede al mismo nivel (Hay un modelo físico que explica este hecho. En caso de no conocerlo, averiguar cuál es)

2. Teniendo en cuenta que el agua fluirá por la manguera que une los depósitos sólo en tanto exista una diferencia en los niveles de agua, se le solicitará a los alumnos que lo comparen con el calentamiento de una botella de agua tapada, sacada de la heladera y colocada sobre una mesa, a los fines de completar el

siguiente cuadro *identificando los correspondientes análogos* y más que nada *las enormes limitaciones y representaciones científicamente erróneas* que puede generar esta analogía ante un estudiante desprevenido.

	Recipientes comunicados	Calentamiento de un cuerpo
Sistema	Vaso vacío	
Entorno		
Frontera		Superficie matemática interna que rodea al vidrio de la botella y tapón
¿Qué fluye?		
Sentido en que fluye		
Termina cuando		

Tabla 6.1 Cuadro comparativo de situaciones

3. Expresar por escrito las principales diferencias en esta analogía entre recipientes comunicados con un fluido y recipientes sin él. Comentar en plenario que representación científicamente errónea se podría inducir con esta analogía. Finalmente especificar los “cuidados didácticos” a tener en cuenta si se insiste en utilizarla en clases con alumnos secundarios.

2.2. ¿La caída de agua es una ilusión?

La litografía de Maurits Escher, (1961) denominada “Waterfall” muestra una situación físicamente imposible. ¿Por qué?

Ingresar a <http://www.abadiadigital.com/imagenes/escher-waterfall.jpg> para ver el cuadro y elaborar un escrito en donde se explique la imposibilidad física de la situación.

2.3. El artillugio de Newton

Es muy llamativo analizar el funcionamiento del **artilugio de Newton**, al cambiar la cantidad de bolitas que se sueltan de un lado (1, 2, 3, 4...); o bien al soltar simultáneamente una bolita de cada lado, 2 de cada lado, y hasta 3 y 4...)

1. Ingresar a: <http://www.youtube.com/watch?v=JadO3RuOJGU&feature=relat> y a http://www.youtube.com/watch?v=0LnbjyOyEQ8&feature=player_detail-page

2. Después de observar los videos analizar, expresando por escrito, las transferencias y transformaciones de la energía que están implicadas en el movimiento de las bolitas del Artilugio de Newton.

3. Explicar por qué finalmente el proceso se detiene.

2.4. La energía de un patinador que se mueve por una pista.

Abrir la simulación **Energía en el Skate Park: Básico** (si lo desea, bajarlo a su computadora). Para ello ingresar en <http://phet.colorado.edu/es/simulation/energy-skate-park-basics>. Para que funcione se necesitan los plugins de Java. Instalarlos en caso de ser necesario.

Estando abierta la aplicación:

Parte I

1) Ubicar el patinador sobre la pista en la parte superior derecha de la misma. ¿Qué ocurre con el patinador? ¿Por qué? ¿En qué lugar se mueve lo más rápido posible? ¿En algún momento está detenido? ¿Cuándo se desplaza acelerando y cuando frenando?

Para corroborar sus suposiciones activar el botón **Mostrar trayectoria** dentro del área **Traectoria**.

2) Reiniciar y colocar al patinador sobre la pista, exactamente a 5 m de altura. (Activar la cinta métrica y la cuadrícula sobre la pista). Habilitar **Mostrar gráfico circular**, y analizar qué información brinda. ¿Qué color se utiliza para la energía cinética? ¿Y para la potencial?

3) Ubicar al patinador en un punto cualquier de la pista... Analizar cómo va transformándose la energía a medida que la recorre. El **gráfico de barras** y el control de la velocidad de desarrollo de la animación pueden ayudar.

4) Cambiar de patinador... ¿Cambia la cantidad de energía involucrada? ¿Cambia la transformación de cinética a potencial gravitatoria y viceversa? Buscar las razones de las respuestas.

5) Modificar la pista (se pueden agregar o quitar tramos o modificar sus ubicaciones o longitudes), para que haya un tramo que en la energía cinética se mantenga constante. Explicar cómo se lo consiguió. Dar las razones físicas que lo permiten.

6) ¿Se puede modificar la pista de modo que el patinador tenga solo energía potencial gravitatoria? Explicar las razones.

7) Localizar en qué lugar de la misma el patinador tiene un 50% de su energía como cinética y el restante como potencial gravitatoria. El gráfico de barras y el

control de la velocidad de desarrollo de la animación pueden ayudar para dar la respuesta.

8) Activar una pista (Track) tipo Double Well (Roller Coaster)

Poner a patinar a un personaje. Modificar la pista de modo que no pueda pasar de la mitad de la misma. ¿Por qué no lo consigue?

9) Imaginarse pistas en otros lugares.

Habilitar una pista cualquiera por la que pueda moverse el patinador. Analizar cómo se transforman las energías en la Tierra.

- Reubicar la pista en el espacio. ¿Puede caer el patinador? ¿Puede moverse? Buscar las razones de ambas respuestas.
- Y si la pista se lleva a la Luna. ¿Qué sucede con las respuestas anteriores?
- ¿Qué pasaría en Júpiter?

10) ¿Qué conceptos relacionados con la energía aparecieron en juego en esta parte del tutorial?

Parte II

Para trabajar con modelizaciones más reales, puede agregarse el rozamiento con la pista. Se activa con el botón **Fricción de pista>>**.

No olvidar activar **Con térmica**, independientemente de tipo de gráfico de energía utilizado, en el área de **Gráficos de energía**.

1) Dibujar una pista en la que luego de recorrerla el patinador sale de ella y cae a tierra. ¿Qué ocurre con la energía al llegar al piso? ¿Cómo lo muestra la animación? Registrarla.

2) Trabajar con una pista en forma de U en la que el lado derecho es más largo que el izquierdo.

Colocar el patinador a la mayor altura posible del lado derecho y soltarlo. Describir lo que ocurre con la energía del patinador. Buscar las razones físicas de lo ocurrido.

3) Activar la pista (Tracks) llamada Friction Parabola. Ubicar el extremo superior a 6 m de altura. Permitir que el patinador deslice.

- a) Determinar cuánta energía se pierde por rozamiento al culminar el primer ascenso. La respuesta debe ser numérica expresando la cantidad o de modo porcentual.**
- b) ¿Cambia la energía disipada si se cambia de patinador? Probar antes de contestar.**

4) Visualizar la pista tipo loop. Ubicar al patinador y observar su movimiento.

- a) Modificar las características de la pista para que el patinador se quede**

detenido y boca abajo en el punto más elevado del rulo.

b) Evaluar las transformaciones energéticas. Explicar si se conservó o no la energía. Si falta energía, explicar dónde está.

5) Proponer con el grupo una actividad en la que aparezcan los conceptos desarrollados en este tutorial. Describirla y desarrollarla.

6) Enunciar qué aportes conceptuales brindó la interacción con este Phet. Entregarlos junto con la actividad anterior.

2.5. Se pone en movimiento sin la intervención de ninguna parte del cuerpo

1) Tomar una foto a un cuerpo en movimiento, de ser necesario deberá hacerse una secuencia de fotografías. **iii Tener en cuenta que se evaluará la originalidad de la propuesta!!!**

2) Incorporar esa/s foto/s en un documento sobre el cual se trabajará mientras se resuelve este trabajo práctico.

3) Determinar un sistema, una frontera y un entorno. Paso a paso evaluar los intercambios de energía entre el sistema y el medio identificando modos como trabajo (desde el concepto físico), radiación o calor.

4) Puesto ese cuerpo en movimiento, evaluar las transformaciones energéticas del sistema que se mueve, para detenerlo o mantenerlo eternamente en ese estado.

5) Sin olvidar incluir autores, fecha de resolución, número en las páginas y toda acotación que se considere pertinente, imprimir el trabajo. Colocarlo en un folio para entregarlo.

2.6. ¿Equilibrio térmico significa igual energía?

Habiendo aceptado que los modelos, son *versiones simplificadas de la realidad*, que por regla general se considera muy compleja, debemos destacar que, en las ciencias experimentales los modelos deben ser contrastados o ser factibles de contrastar con los datos empíricos. Por lo tanto se deben acordar criterios para decidir cuando un modelo es una buena representación de la realidad que estamos queriendo indagar. El criterio por excelencia para controlar este *ajuste* del modelo a la realidad es el *error experimental*. Por lo tanto, tratar de corroborar la excelencia de un modelo dado mediante registros cuantitativos (mediciones) que carezcan de sus márgenes de incertezas, no tiene ningún significado en las cien-

cias experimentales como la Física. Para poder realizar dichos registros muchas veces se construyen "prototipos", es decir, producciones reales que representan (a escala) los objetos o eventos sobre los que se pretende dar explicaciones.

Sugerencia:

*Para esta actividad y todas aquellas que de ahora en adelante involucren trabajo experimental, se necesita contar con un **cuaderno de notas de laboratorio**, así como con una **idea estructural** de la manera en que el grupo orientará la producción de conocimiento durante estas actividades y la **comunicación** de los resultados obtenidos*

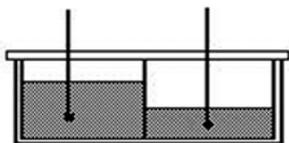


Fig. 6.2. Prototipo
Fuente: del autor

La actividad experimental se realizará en base al siguiente evento: Dos volúmenes distintos de agua y a distintas temperaturas (éstas se pueden registrar mediante dos termómetros de mercurio) se ponen en contacto térmico mediante una lamina de aluminio. Todo el conjunto está aislado adiabáticamente del exterior mediante una caja con paredes de telgopor (Ver fig.6.2).

Antes de formular preguntas sobre este evento, es necesario tener claro los supuestos teóricos que orientan las preguntas. Para ello, repase el capítulo I de este texto e intente conceptualizar el evento, respondiendo las siguientes cuestiones:

1. ¿Cuál o cuáles son los sistemas que se estudiarán y cuáles sus respectivos entornos? Identificarlos claramente y describirlos, aclarando el tipo de sistema y paredes.
2. ¿Cuáles son las variables que considera más relevantes de registrar para el estudio de este evento?
3. La noción de equilibrio térmico, ¿Le parece relevante para este evento? Si su respuesta es afirmativa, ¿En qué circunstancia del desarrollo del experimento se recurre necesariamente a dicha noción teórica?
4. En la descripción del evento se menciona el concepto de contacto térmico

referido a una lámina de aluminio. A su criterio, ¿Habría que mencionarlo en referencia a otros elementos involucrados en la experiencia? ¿Cuáles y por qué?

5. ¿Qué características termodinámicas deberían tener los elementos e instrumentos que se utilizarán, para un registro adecuado del evento?

Elaborar en grupos (no más de 4 personas) un conjunto de preguntas, referidas al equilibrio térmico, *en base al evento* mencionado. Para ello le sugerimos tener en cuenta las siguientes cuestiones:

1. ¿Qué compromisos metodológicos (acciones experimentales) asumirán, durante los registros de las distintas variables elegidas, para responder las preguntas que se han formulado?

2. ¿Qué se está evaluando del sistema cuando se registra la temperatura?

3. ¿Equilibrio térmico es diferente de equilibrio de energía entre el sistema y el entorno? Fundamente a favor o en contra por escrito.

En plenario, se discutirán las diversas preguntas, tratando de jerarquizar, valorar y acordar un conjunto de **preguntas relevantes** común, que servirá de guía a los pequeños grupos para enfocar la realización de esta actividad experimental en el laboratorio (lo anterior no implica “descartar” las preguntas no comunes).

Consideración del error experimental

Durante un desarrollo experimental debemos tener en cuenta que cada **instrumento** está construido en base a ciertas teorías que delimitan la **precisión** con la que mide, el **rango** de medidas posibles a efectuar con él, las **unidades** de medida que utiliza y su **calibración**. Por otro lado, la persona que utiliza dichos instrumentos trabaja con una cierta **apreciación** que depende fuertemente de las decisiones que toma en el momento de los registros.

En síntesis, quien realice un actividad experimental con características científicas (a nivel escolar o en un laboratorio de investigación) tiene a su disposición **teorías de medición y análisis de datos** que le conducirán a efectuar la toma de los registros con ciertas reglas, de manera que sus conclusiones tengan **validez interna y externa (pertinencia, repetitividad, etc.)**

Las siguientes cuestiones lo orientarán no sólo en la elección de los instrumentos sino también en las reglas necesarias para los registros.

1. Las características técnicas de los instrumentos elegidos (rangos, precisión, sustancias termométricas, etc.) ¿Son las adecuadas en función de los compromisos metodológicos asumidos?

2. En el momento de registrar la temperatura ¿qué reglas debe seguir el experimentador?, ¿En qué supuestos teóricos se basan dichas reglas?
3. Las escalas de temperatura ¿son las más adecuadas para el registro de este evento?

En síntesis, estas etapas contribuyen a la elaboración del **diseño experimental** y a la *anticipación de las posibles afirmaciones de conocimiento y valor (conclusiones)*, que darían respuesta a las *preguntas relevantes* y posibles *hipótesis de trabajo* formuladas sobre el evento.

Montaje experimental y realización de la actividad experimental

Finalmente cada grupo se abocará a la realización de la experiencia *manteniendo “en mente” el esquema acordado*, distribuyendo los roles internos según sus criterios.

Es necesario, para un registro pertinente y de características científicas, que los aspectos más relevantes de las discusiones (acuerdos o desacuerdos), cómo dibujos, esquemas, mediciones preliminares, definitivas, cálculos tentativos, *sensaciones*, resultados previstos, etc., queden registrados por escrito en el cuaderno de notas de laboratorio.

Recuerde que *estos aspectos deberían incorporarse necesariamente en toda actividad experimental, aunque la guía didáctica correspondiente no lo demande explícitamente.*

2.7. Tras las huellas de un aislante térmico o ¿cómo elegir una pared adiabática aceptable?

Dado que un buen aislante térmico está relacionado con el hecho de contar con transformaciones menos degradativas de la energía y por lo tanto con beneficios ambientales y económicos para los ciudadanos, es interesante formarse criterios adecuado a la hora de elegir “paredes adiabáticas” en nuestra vida cotidiana.

Dada la tendencia al equilibrio térmico de todo sistema con su entorno a través de transformaciones energéticas, evidencia de la cual hemos tenido si realizamos la actividad experimental anterior, sería útil delimitar algunas variables importantes a la hora de generar una buena aislación térmica en algunas actividades humanas o bien, para las construcciones y productos que utilizamos cotidianamente.

Aquí se invita, con un diseño más abierto, a construir, a partir de dos recipientes colocados uno dentro del otro, algún dispositivo para evaluar la adiabaticidad (propiedad de aislamiento térmico) de la pared que se elija para separar sistema de entorno.

Parece lógico, a partir de la actividad experimental anterior que las variables temperatura y tiempo son relevantes para tal evaluación. No obstante, hay otras que debemos considerar para nuestro objetivo como por ejemplo los materiales de los recipientes, los que colocaremos entre uno y otro (los “aislantes”), su estado de agregación, composición, etc.

Tratando de pensar en la estructura experimental anterior, diseñar un dispositivo. Escribir el evento que será objeto de estudio, hacer preguntas (al evento) tratando de no divagar, sino direccionarlas a él para que cada vez que se respondan quede más claro lo que se desea explorar.

Recuperar y reivindicar (hacer propios citando las fuentes) todos aquellos conceptos que se necesitan tanto para hacer las preguntas como para dar explicaciones de los datos obtenidos.

Fijarse unos compromisos metodológicos para proceder experimentalmente (medir) de acuerdo con las preguntas y elegir los materiales e instrumentos de medición adecuados con sus respectivos errores experimentales que darán el nivel de ajuste de los modelos que se utilicen con la realidad.

Anotar todo lo desarrollado y pensado en el cuaderno de laboratorio.

Valorar el proceso, analizando la sensación de haber armado el dispositivo desde la nada

Elaborar afirmaciones y juicios en base a los datos obtenidos, es decir, escribir y discutir las conclusiones sobre los criterios para elegir un mejor aislante térmico.

Finalmente, poner en valor la actividad en un contexto más general (¿para qué se podría utilizar fuera del laboratorio?)

3.1. Propuestas didácticas para el trabajo integrado

Finalmente, este conjunto de propuestas tiene el propósito de facilitar la realización de proyectos de clase de corte cooperativo e integral, promoviendo toma de posturas y reivindicaciones hacia los usos adecuados del saber sobre la energía en nuestra sociedad y en nuestro tiempo.

3.1. Conociendo los consumos energéticos podemos ahorrar energía

Una primera experiencia a realizar la podemos encontrar aquí:

http://www.crana.org/es/energia-cambio-climatico/recursos-educativos_1/unidades-didacticas-para-las-escuelas_1

3.2. Balance energético

Este es un sitio de la Universidad de La Punta, Provincia de San Luis para trabajar la temática del **balance energético**. La propuesta tiene objetivos muy claros y de alto valor didáctico que invitan a replicar la experiencia. La podemos encontrar acá:

<http://www.balancecero.gov.ar/balanceceroasp/index.asp>

Se puede continuar con estos temas de balance energético, ingresando a la página <http://www.ambiente.edu.ar/> y obtener una gran variedad de archivos sobre temas ambientales que presentan cuestiones teóricas, prácticas y experimentales. También podés acceder a videos y links a sitios que tratan esta temática.

3.3. Un proyecto abierto para analizar la cadena de provisión de energía eléctrica en una escuela rural

Tanto la energía eólica como la solar se usan, como ya se mencionó en el capítulo correspondiente, para proveer de energía eléctrica a lugares aislados como las escuelas rurales y albergues del interior del país. Esto se puede trabajar con los estudiantes de profesorado de educación primaria, como una problemática integrada, tomando el contenido transversalmente atendiendo a las características de los plurigrados que se presentan en estas instituciones.

Se puede conocer e interpretar el funcionamiento tanto de las celdas, como de los aerogeneradores, la producción, el almacenamiento y recorrido de estas energías hasta su aprovechamiento, tanto en la iluminación de la escuela, calefacción, calentamiento de agua, etc. Con la utilización de herramientas matemáticas y según el nivel escolar de los alumnos, se pueden realizar los cálculos co-

rrespondientes al dimensionamiento de las instalaciones y los consumos diarios, semanales, etc. Dado que la realidad de las escuelas rurales está cambiando con la llegada de esta tecnología, se puede propiciar un debate reflexivo del impacto que estos cambios producen en la sociedad escolar y familiar, pudiendo elaborarse producciones escritas según las posibilidades de los grados y plurigrados incluidos en el proyecto.

Para complementar los alcances del proyecto, se pueden realizar experiencias aprovechando el hecho de que en muchas escuelas, tanto primarias como secundarias, existen cajas con material didáctico provistas por el Ministerio de Educación en diferentes gestiones. En ellas, por ejemplo, se puede encontrar una celda fotovoltaica de silicio que trae unido un pequeño motor cuyo funcionamiento (rotación) se puede observar cuando se hace incidir la luz solar en la misma. También está dotada para hacer otras conexiones y/o demostraciones.

Posibles recorridos históricos

Desde hace tiempo, la Didáctica de las Ciencias considera con atención las aportaciones potenciales de la historia y filosofía de las ciencias en su enseñanza, y sugiere utilizarlas explícitamente en la fundamentación de sus propuestas. La idea que proponemos es hacer el recorrido inverso, centrándonos en un objeto tecnológico, como puede ser un aerogenerador (u otro que el profesor elija) y utilizar datos históricos, obtenidos de la bibliografía tradicional o de la Web para poner en valor el mismo, analizando cómo los paradigmas de cada época y sociedad influyen en las dediciones que se toman y las consecuencias de las mismas. Creemos que esta clase de actividades permite tomar una postura social y científica a partir de un recorrido socio-histórico y una reflexión fundamentada.

Actividad: *Si a comienzos del siglo XVII en Europa había cientos de miles de molinos de viento y en China, alrededor de medio millón. ¿Por qué se perdió el interés en la utilización de los mismos?*

Y... ¿Qué pasó, al final del siglo XX, que volvió a cobrar importancia la utilización de los aerogeneradores para la producción de energía eléctrica?

Para seguir ampliando el tema didáctico y las posibilidades de incluir los trabajos y sugerencias al respecto, invitamos al lector a consultar la bibliografía citada en este y los demás capítulos del libro referidas a investigaciones educativas sobre el tema.

3.4. Actividad integradora sobre biogás³

El aprendizaje respecto de los recursos energéticos es más rico en la medida que se vincule con la cotidianidad del que aprende.

Unas de las potencialidades que presenta la energía de biomasa, en su abordaje didáctico, es la de posibilitar un trabajo contextualizado de la temática. En este sentido, este tema no sólo permite trabajar posicionamientos teóricos respecto de la energía y trabajar distintos modelos para su abordaje y entendimiento, sino que es un insumo válido para el aprendizaje no sólo significativo sino además relevante, en términos de Pérez Gómez (1999) para quien el aprendizaje relevante se refiere a aquel tipo de aprendizaje significativo que, por su importancia y por su utilidad para el sujeto, provoca la reconstrucción de sus esquemas habituales de conocimiento.

Es interesante poder vincular la realidad de un pequeño productor, cotidiana en muchas regiones del país, con la posibilidad de aprovechar un recurso disponible como es el desecho de corrales para la satisfacción de necesidades energéticas del propio productor. Esto permite trabajar la idea de “Energía sostenible” que la ONU se refiere como aquel aprovechamiento que apoya a largo plazo el desarrollo humano en el ámbito social, económico y ecológico.⁴

Problema desarrollado

Mi primo Esteban tiene una pequeña granja. Le conté sobre el tema del biogás y se entusiasmó bastante. Como él tiene 6 vacas quiere construir un digestor anaeróbico de flujo continuo con el residuo del estiércol de estos animales.

¿Será suficiente el biogás que obtendría para cocinar y calefaccionar su vivienda? ¿Qué dimensiones deberá tener el biodigestor y el gasificador?

Para poder responder esta pregunta te proponemos investigar:

- a. La producción de metano que obtendría para un tiempo de retención de 30 días y temperatura de 25°C.
- b. Si la composición del biogás es de un 60 % CH₄ y un 40 % CO₂, ¿cuáles son las cantidades que se obtendrían de biogás, de CH₄ y de CO₂?
- c. Si utiliza este metano para la producción de energía por calor, ¿cuántos kg de gas licuado de petróleo podría reemplazar durante un mes si sólo se aprovechara el 70 % de la energía obtenida?

3 Adaptada de Sánchez Miño, S. J. (2003). Energías Renovables. Conceptos y Aplicaciones. Quito: WWF - Fundación Natura (páginas 111-114)

4 <http://www.un.org/es/events/sustainableenergyforall/help.shtml>

Solución:**a) Producción diaria de metano**

Datos: Peso de cada animal $W = 500$ kg, temperatura = 25 °C, composición biogás = 60% CH_4 y 40% CO_2 , tiempo de retención $RT = 30$ días.

Peso total de los animales = $6 \cdot 500$ kg = **3.000 kg**

No.	Recurso	W	T	TS	VS	N	P	K	TS/T	VS/TS
1	Vaca	500	86	12	10	0,45	0,094	0,29	14 %	83 %
2	Toro	500	58	8,5	7,2	0,34	0,092	0,21	15 %	85 %
3	Becerro	40	62	5,2	2,3	0,27	0,066	0,28	8 %	44 %
4	Chancho	70	84	11	8,5	0,52	0,18	0,29	13 %	77 %
5	Oveja	60	40	11	9,2	0,42	0,087	0,32	28 %	84 %
6	Chivo	50	41	13	---	0,45	0,11	0,31	32 %	0 %
7	Caballo	400	51	15	10	0,3	0,071	0,25	29 %	67 %
8	Gallina	2,2	85	22	17	0,84	0,3	0,3	26 %	77 %
9	Roedor	2	64	16	12	1,1	0,3	0,4	25 %	75 %
10	Pavo	8	47	12	9,1	0,62	0,23	0,24	26 %	76 %
11	Pato	3	110	31	19	1,5	0,54	0,71	28 %	61 %

Tabla 6.2. Características de la materia orgánica utilizada en biodigestión anaeróbica
Fuente: ASAE Standard D384.1 DEC93, American Society of Agricultural Engineers5

Donde:

W = Peso promedio del animal en kg.

T = Cantidad total de residuo (kg de estiércol por cada 1.000 kg de peso del animal)

TS = Contenido promedio total de sólidos en kg por cada 1.000 kg de peso del animal.

5 Tomada de Sánchez Miño, S. J. (2003). Energías Renovables. Conceptos y Aplicaciones. Quito: WWF - Fundación Natura (página 111)

VS = Contenido promedio de sólidos volátiles en kg por cada 1.000 kg de peso del animal.

N = Contenido promedio de nitrógeno en gramos por kilo de sustancia.

P = Contenido promedio de fósforo gramos por kilo de sustancia.

K = Contenido promedio de potasio en gramos por kilo de sustancia.

$\frac{TS}{T}$ = Porcentaje de TS sobre T. $\frac{VS}{TS}$ = Porcentaje de VS/TS.

Residuo Orgánico	BO [m ³ CH ₄ /kg VS]
Vaca	0,2
Res	0,35
Desecho municipal	0,2
Chanchito	0,45
Gallina	0,39
Aguas negras	0,406

Tabla 6.3. Potencial de Producción de Metano (BO) de algunos Residuos

Con datos de la tabla anterior puede calcularse la producción diaria de estiércol (T), los sólidos totales (TS) y los sólidos volátiles (VS). Posteriormente de la tabla 6.3. Se extrae el valor del Potencial de producción de metano (BO), que representa el volumen de metano producido por masa de sólidos volátiles en [m³ CH₄/kgVS]

$$T = 3000 \text{ kg} \cdot 86 \text{ kg}/1.000 \text{ kg de animal} = \mathbf{258 \text{ kg / día}}$$

$$TS = 3000 \text{ kg} \cdot 12 \text{ kg}/1.000 \text{ kg de animal} = \mathbf{36 \text{ kg /día}}$$

$$VS = 3000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ kg}/1000 \text{ kg de animal} = \mathbf{30 \text{ kg /día}}$$

$$VO = \mathbf{0,2 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kgVS}}$$
 (de tabla 6.3.)

El paso siguiente es calcular Volumen de metano producido por día (V_{CH_4}), pero para ello se deben calcular previamente los factores K (número adimensional que indica la descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo) y U (crecimiento diario de la producción de metano con el cambio de temperatura)

$$K = 0,6 + 0,0006 \cdot e^{(0,1185 \cdot VS)} = 0,6 + 0,0006 \cdot e^{(0,1185 \cdot 30)} = \mathbf{0,621}$$

$$U = 0,013 \cdot TC - 0,129 = 0,013 \cdot 25 - 0,129 = \mathbf{0,196}$$

$$V_{CH_4} = BO \cdot VS \cdot \left(1 - \frac{K}{U \cdot RT - 1 + K}\right)$$

$$V_{CH_4} = 30,25 \cdot 30 \cdot \left(1 - \frac{0,621}{0,196 \cdot 30 - 1 + 0,621}\right) = \mathbf{5,32 \frac{m^3_{CH_4}}{día}}$$

b) Cantidades de CH₄, CO₂ y biogás

La cantidad de metano obtenida es la calculada en el punto anterior. Este valor se toma como punto de partida para calcular el volumen de dióxido de carbono y el total de biogás a obtenerse, teniendo en cuenta que este último se compone de un 60 % CH₄ y un 40 % CO₂.

Volumen de CH₄ = 5,32 [m³_{CH₄}/día]

Volumen de biogás = 5,32 · % biogás / % CH₄ = 5,32 · 100 % / 60 % = 8,87 [m³_{biogás}/día]

Volumen de CO₂ = V_{biogás} - V_{CH₄} = 8,87 - 5,32 = 3,55 [m³_{CO₂}/día]

c) Reemplazo de gas licuado de Petróleo (GLP) con biogás

Datos:

El Poder calorífico del CH₄ equivale a 55 MJ/kg = 38 MJ/m³

El Poder calorífico del GLP equivale a 50 MJ/kg (Datos obtenidos de Sánchez Miño, S. J. (2003))

Energía aprovechable por biogás = Volumen de CH₄ · Poder calorif. CH₄ · Rendimiento

Energía aprovechable por biogás = 5,32 m³_{CH₄}/día · 38 MJ/m³ · 0,70 = **141,72 MJ/día**

Masa GLP reemplazada por día = $\frac{\text{Energía aprov}}{\text{Poder calorif GLP}} = \frac{141,72 \frac{\text{MJ}}{\text{día}}}{50 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = 2,83 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$

Masa GLP reemplazada por mes = 2,83 kg/día · 30 días = 84,9 kg/mes

De los cálculos se puede inferir que el biogás producido por seis vacas en un mes equivale a más de ocho garrafas de 10 kg cada una de gas licuado de petróleo (GLP). Podemos decir que es más que suficiente para todos los requerimientos energéticos para cocción y calefacción.

Problema a resolver

El vecino de mi primo Esteban tiene 4 chivos y 2 chanchos grandes, ¿podrá él también abastecerse con suficiente biogás para cocinar y calefaccionar la casa?

Para poder responder esta cuestión tendrás que investigar y calcular.

¡¡¡Entonces, manos a la obra!!!

Para seguir en contacto

Como se dijo en la introducción “sería una enorme satisfacción para nosotros recibir devoluciones virtuales o personales, a partir de dudas, ideas propias, sugerencias, preguntas y todo aquello que genere la lectura de este libro. Esto nos permitirá seguir creciendo en nuestra tarea docente, posibilitando la formación de más y mejores formadores de ciudadanos, específicamente en estas cuestiones críticas de nuestras sociedades”. Por ello, si quiere seguir en contacto con nosotros para sugerencias, consultas o inquietudes, le dejamos nuestros datos

Nombres y Apellido	Localidad y Provincia	Correo
Sandra CAMINAUR	Las Lajas - Neuquén	scaminaur@yahoo.com.ar
Ebiana Susana MAREY	Temperley - Buenos Aires	ebiana_marey@yahoo.com.ar
Juan Manuel MARTÍNEZ	Esquel - Chubut	caviajuan@gmail.com
Mario Rolando MOLINA	Sáenz Peña - Chaco	rolando1908@yahoo.com.ar
Nancy SISCA	Pico Truncado - Santa Cruz	nancy_sisca@hotmail.com

Bibliografía

- Asensio, P. (2007) "Hidrógeno y pila de combustible". Colección energía renovables para todos. Haya comunicación. Madrid. [En línea: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-hidrogeno-y-pila-de-combustible.pdf>] Fecha de consulta: 15 de abril de 2012.
- Benjumena Hernández, P.N.; Agudelo Santamaría, J. R. y Ríos, L. A. (2009) *Biodiesel: Producción, calidad y caracterización*. Editorial Universidad de Antioquía. Medellín.
- Blanco, A. y Blanco, G. (2011, 9^{na} edición) *Química Biológica*. El Ateneo. Buenos Aires.
- Calero Pérez, R.; Carta González, J. A. y Padrón Hernández, J. M. *Energía de la biomasa y de los residuos sólidos*. Programa educativo Eficiencia Energética. Ayuntamiento de las Palmas de Gran Canaria
- Calzetta, E., *Entropía* (INET) 2010, disponible gratuitamente en <http://www.inet.edu.ar/programas/capacitacion/materiales/nuevos/entropia.html>
- Cardozo, F. (Comp.). (2009). *Energías Renovables para el desarrollo rural*. CIPAF. INTA.
- Carrillo, L. (2004, 1^{ra} edición) *Energía de Biomasa*. S.S. Jujuy. ISBN 987-43-8679-7.
- Cerejido, M. (2009) Elogio del desequilibrio. En busca del orden y el desorden en la vida. 1^ª edición. Buenos Aires: Siglo veintiuno Editores (pp. 48 y 49)
- Chang, R. (2007, 9^{na} edición) *Química*. McGraw-Hill Interamericana. México.
- Costa, A. y Domenech, G. (1993) *La energía cuanta su historia*. Buenos Aires.
- Curtis, H; Barnes, N. S.; Schnek, A. y Flores, G. (2006, 6^{na} edición) *Invitación a la biología*. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.
- Damin, C. F. Glosario de términos de interés toxicológico relacionados con el Ambiente, 1^{er} Cátedra de Toxicología. Fac. Medicina. UBA.
- De Cervantes, M. *El Ingenioso Hidalgo de Don Quijote de la Mancha. Capítulo octavo*. (en línea: <http://www.elmundo.es/quijote>, fecha de consulta: 15/04/12).
- Fernandez (2005) Energías renovables para todos: Biomasa. De la colección elaborada por Haya Comunicaciones, editora de la revista "Energías Renovables "con el patrocinio de Iberdrola. Fecha de consulta: 8 de Mayo de 2012 En línea: <http://es.scribd.com/doc/44778160/Cuadernos-Energias-Renovables-Para-Todos-Biomasa>
- Fernández, J. F. *Capítulo N^o 1: Poder Calorífico*. Cátedra: "Maquinas Térmicas" Ingeniería Electromecánica Facultad Regional Mendoza.
- Feynman, R. Leighton, R y Sands, M. (1971) *Física*. Volumen 1, (pp. 4-1 a 4-3) Fondo Educativo Interamericano, ed. Bilingüe, Estados Unidos.
- Fourez, G. (1998) La construcción del conocimiento científico. 2^a edición. Madrid. Narcea (pp. 100 y 101)
- García Camús, J. M. y García Laborda, J. A. (2006) *Biocarburentes líquidos: biodiesel y bioetanol*. CITME. Universidad Rey Juan Carlos.
- Giralt, C. y Alva, C.I (2008) "Energía eólica + Hidrógeno". Una política estratégica. Breviario en relaciones internacionales. Número 12. [En línea: <http://www.cea.unc.edu.ar/boletin/n-antecedentes/012/articulo2.pdf>] Fecha de consulta: 30 de abril de 2012.
- González A., S. *Pigmentos fotosintéticos: fuentes de vida y color*. Programa Valoraciencia. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Católica del Norte [en línea: <http://valoraciencia.ucn.cl/guia/17-profepigmentos.pdf>]
- González García Conde, A. (2008) "Hidrógeno y pilas de combustible: expectativas y oportunidades" en "Fuentes de energía para el futuro". Secretaría General Técnica. Ministerio de Edu-

- cación, Política Social y Deporte. Secretaría de estado de Educación y Formación. Capítulo 4.
- González García-Conde, A. (2008) "Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno". Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Departamento de Aerodinámica y Propulsión. [En línea: <http://www.udg.edu/LinkClick.aspx?fileticket=qifUssAOVxs%3D&tabid=8702&language=ca-ES>] Fecha de consulta: 30 de abril de 2012.
- González, C. A. *Laboratorio de Botánica*. Departamento de Biología. Colegio Nacional de Buenos Aires. UBA. [en línea: <http://www.botanica.cnba.uba.ar/cgonzalez.htm>]
- Guardado Chacón, J. A. (2006) *Tecnología del biogás*. Manual del usuario. Editorial Cubasolar. [en línea: <http://www.cubasolar.cu>]
- Guevara Vera, A. (1996) *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes*. M. S. en Saneamiento Ambiental. CEPIS. OPS. Lima.
- Henry, J. G. y Heinke, G. W. (1999, 2^{da} edición) *Ingeniería ambiental*. Prentice Hall. México.
- Hewitt, P. (1995) "Física Conceptual". Pearson Educación. México. 10^a edición. Capítulo 25: Inducción electromagnética. 2007
- Kemp, H.R. (1984) The concept of energy without heat or work. *Phys. Educ.* 19, 234-240
- Lobera Lössel, J. B. (2011) *Historia del Biogás*. Proyecto METABIORESOR. IMIDA [en línea: [http://www.metabioresor.eu/upmedios/image/Historia%20del%20Biog%C3%A1s\(1\).pdf](http://www.metabioresor.eu/upmedios/image/Historia%20del%20Biog%C3%A1s(1).pdf)]
- Luxan, B Y Jimenez, A (2003). *Energías e Impacto Ambiental*. Madrid. Equipo Sirius, 2003
- Medina, J. J. (2008) *Principales insumos en la producción de biocombustibles. Estudio Exploratorio*. Convenio INTA/SECTIP - MinCyT.
- Molina P., Jaime G. (2004) "Mini Hidráulica". Curso de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. Montoya Rodríguez, M. I. y Quintero Suárez, J. A. (2005) *Esquema tecnológico integral de la producción de bioetanol carburante*. Trabajo de Grado en la modalidad Participación en Proyecto de Investigación. Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería y Arquitectura Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia: Sede Manizales.
- Nejat Veziroglu, T. (2002). "El sistema energético del hidrógeno y Argentina". *Miscelánea Número 99*. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. Argentina. Traducción: Raúl Magallanes.
- Nelson, D. L. y Cox, M. M. (2005, 4^{ta} edición) *Lehninger: Principios de bioquímica*. Editorial Omega, Barcelona.
- Nietzsche, (1986). *Humano, demasiado humano*. (Párrafo 200) Ed. Mexicanos Unidos, 5a. ed. [Online] Disponible en <http://elartedepreguntar.files.wordpress.com/2009/06/nietzsche-friedrich-humano-demasiado-humano.pdf>.
- Pellisero, M.; Haim, P. et al (2011) "Aprovechamiento de la Energía Undimotriz". *Revista Proyecciones* 2011. Facultad Regional Buenos Aires. Universidad Tecnológica Nacional. **Volumen 9. Número 2. pp. 53 - 66.** [En línea: http://www.frba.utn.edu.ar/sectip/proyecciones/pdf/V9_2.pdf] Fecha de consulta: 20 de marzo de 2012.
- Pérez Gómez, A. I. (1999). *La cultura escolar en la sociedad neoliberal*. Madrid: Morata
- Rela, A. y Sztrajman, J. (2001) "Física 1. Mecánica, ondas y calor". Buenos Aires. Aique. 1^a edición.
- Sánchez Miño, S. J. (2003). *Energías Renovables. Conceptos y Aplicaciones*. WWF - Fundación Natura. Quito.
- Sánchez Sudón, F.; Ferreiro Viña, A. et al. (2008) "La energía hoy y mañana". Madrid. [En línea: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/la-energia-del-hoy-y-del-maniana-fenercom.pdf>] Fecha de consulta: 30 de abril de 2012.
- Sanz Villuendas, R. (2010) *Estudio tecnológico sobre el vector hidrógeno y sus aplicaciones en el siglo XXI*. Proyecto final de carrera. Especialidad: electrónica. Escuela universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad de Zaragoza.

- Serway, R. y Jewett, J. (2009) Fundamentos de Física Vol 1. México: Cengage Learning; Moreschi, O. (2010) Energía (INET), (2010) [On line] disponible en <http://www.inet.edu.ar/programas/capacitacion/materiales/nuevos/energia.html>
- Soria, E. (2007) "Hidráulica". Haya Comunicación, editora de la revista Energías Renovables. [En línea: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-hidraulica.pdf>] Fecha de consulta: 17 de abril de 2012.
- Strnad, J (1984) The second law of thermodynamics in a historical setting. *Phys. Educ.*, **19**, 94.
- Trossero, M. A. y Horta Nogueira, L. (2001). *UWET - Unified Wood Energy Terminology Uwet*. Departamento de Montes de la FAO. [en línea:
- Varnero Moreno, M. T. (2011) *Manual de Biogás*. Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". FAO. Santiago de Chile.
- Young, H. D. y Freedman, R. A. (2009, 12^{va} edición) Sears • Zemansky. *Física universitaria con Física Moderna, Volumen 2*. Pearson Educación, México.

ARTICULOS EN REVISTA

- Alonso M. y Finn, E. (1997) *On the notion of internal energy*. *Phys. Educ.* 32, 256-264
- Domenech, J. y otros (2007) Teaching of Energy Issues: A Debate Proposal for a Global Reorientation, *Science & Education* 16, 43-64.
- Lopes Coelho, R. (2009) On the concept of energy: History and philosophy for science teaching, *Procedia Social and Behavioral Sciences* . 1, 2648-2652.
- Solbes, J. y Tarín, F. (2004) La conservación de la energía: un principio de toda la física. Una propuesta y unos resultados, *Ens. Cs.*; 22(2), 185-194 (Disponible en <http://ddd.uab.es/pub/edlc/02124521v22n2p185.pdf> ;

INFORMACION EN LINEA

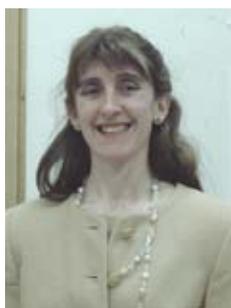
- Abadía digital (2012, octubre 12) [Online] Disponible: <http://www.abadiadigital.com/imagenes/escher-waterfall.jpg>
- <http://www.educasitios2008.educ.ar/aula156/biomasa/>
- http://www.eedsa.com/energias-renovables-servicios_minihidraulica.html Fecha de consulta: 24 de abril de 2012.
- <http://www.girolaboral.com.ar/n50-las-petroleras-tienen-planes-para-invertir-u-s5.000-m-en-2012> Fecha de consulta: 12/12
- http://www.na-sa.com.ar/centrales/embalse_funcionamiento 30/05/2012
- <https://www.inti.gov.ar/e-renova/erEO/er13.php>. Parque eólico Arauco. Fecha de consulta: 15/08/12.
- <https://www.ycrt.gov.ar.carbón> 29/05/2012 Soluciones Prácticas ITDG. *Ficha Técnica 15. Conceptos de la Energía de la Biomasa*. [en línea: <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica15-Conceptos%20de%20la%20energia%20de%20la%20biomasa.pdf>]
- PhET. Interactive simulations University of Colorado. (2012, octubre 12) Energía en el Skate Park: Básico [Online] Disponible: <http://phet.colorado.edu/es/simulation/energy-skate-park-basics>
- Youtube (2012, octubre 12) Newton Ball tricks [Online] Disponible: <http://www.youtube.com/watch?v=JadO3RuOJGU&feature=related>
- Youtube (2012, octubre 12) Newton's Cradle - Incredible Science [Online] Disponible: http://www.youtube.com/watch?v=0LnbyjOyEQ8&feature=player_detailpage

Sobre los autores



Sandra Martina Caminaur

Nació en la ciudad de San Luis en donde cursó sus estudios primarios, secundarios y el de Farmacéutica Nacional, otorgado por Universidad Nacional de San Luis, el 01 de abril de 1991. En este año se trasladó a la localidad de Las Lajas, provincia de Neuquén en donde se radicó y vive en la actualidad. En el año 2006 se recibió de Profesora en Química, título otorgado por Centro de Estudios Superiores Investigación y Desarrollo. Obtuvo, en el año 2007, el Diplomado Superior en Ciencias Sociales con Mención en Gestión de las Instituciones Educativas y el Diplomado Superior en Enseñanza de las Ciencias, en el 2010, ambos títulos otorgados por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales - Sede Académica Argentina.- En cuanto a su experiencia profesional cabe destacar que trabaja en la educación secundaria desde el año 1991, desde hace dos años en el nivel terciario y en 2012 comenzó a trabajar para la Universidad del Comahue.



Ebiana Marey

Es profesora de Matemática y profesora de Física recibida en el Inst. Superior de Formación Docente N° 41 de Alte Brown hace ya muchos años. Después de adquirir experiencia docente en el nivel medio y frente al avance de las Nuevas tecnologías, sintió la necesidad de actualizarse. Completó la licenciatura en Tecnologías Educativas en el año 2002 en la Facultad Regional Avellaneda. Después de incorporar las tecnologías en el aula, se inquietó por evaluar y conocer nuevas propuestas de enseñanza, por lo cual en la misma facultad comenzó la Licenciatura en la Enseñanza de la Física, que culminó en el año 2009 presentando una tesina, denominada: Nuevas propuestas para la enseñanza del electromagnetismo en la escuela media. Sigue trabajando en la enseñanza de la Física tanto en el nivel medio como en el superior no universitario, preocupada siempre por mejorar continuamente las propuestas didácticas de enseñanza.



Juan Manuel Martínez

Nació en Villa Adelina, Buenos Aires y allí vivió su infancia. Después la vida lo llevó a Alta Gracia, Córdoba, donde cursó la secundaria y la universidad. Cursó en la Facultad de Matemática, Astronomía y Física de Córdoba, donde obtuvo los títulos de Licenciado y luego el de Doctor, ampliando su vocación en el difícil y multidisciplinar campo de la Enseñanza de las Ciencias. Desde 1986 vive en Esquel, en la cordillera del Chubut, desarrollando su trabajo de investigación educativa, capacitación y docencia en el Departamento de Física de la Sede Esquel de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia. En los últimos cinco años también dicta clases en el Instituto Superior de Formación Docente 804, hecho que le permitió darse cuenta de que urge y sigue valiendo la pena educar en las ciencias.



Mario R. Molina,

Originario de Pcia. Roque Sáenz Peña, provincia de Chaco, cursó sus estudios de grado en la Fac. de Agroindustrias - UNNE en donde recibió el título de Ingeniero Agroindustrial y posteriormente el de Prof. en Química, Física y Merceología. Desde sus inicios como alumno universitario incursionó en actividades docentes en Matemática, Química y Física. Actualmente realiza tareas docentes en los niveles universitario, superior y secundario. En el ámbito superior y universitario ha realizado experiencias de investigación en diversas áreas, privilegiando en los últimos tiempos la investigación educativa. De dicha actividad han surgido una prolífica y variada actividad como autor de trabajos publicados en congresos y revistas especializadas. Actualmente es director de un proyecto de investigación, en ejecución en Chaco, financiado por el INFD. Simultáneamente ha cursado y culminado en el ámbito de la UNNE la Especialización en Investigación Educativa y la Especialización en Didáctica y Currículum. Recibió el título de Especialista en Gestión Ambiental en la UNCAUS. Actualmente, en su interés de compatibilizar lo ambiental con lo didáctico, se halla cursando en la UNL la Maestría en Didáctica de las Ciencias Experimentales.



Nancy Sisca

Es profesora en Matemática y Física, con una larga trayectoria como docente de nivel medio, terciario y universitario. Fue docente multiplicadora de Enseñanza de la Física para el Ministerio de Educación de la Nación y capacitadora en Matemática para EGB y Adultos en la Provincia de Buenos Aires. Durante diez años se desempeñó en la formación de profesores de Enseñanza Primaria, Profesores de Secundaria en Matemática y Física, dedicándose en especial a las didácticas de las ciencias abordadas; brindó capacitaciones y cursos en todos los niveles y desde 2005 es coordinadora y docente de la Tecnicatura Superior en Energías Renovables que se dicta en Pico Truncado, Santa Cruz. Esta actividad le ha permitido profundizar el apasionante universo de las energías alternativas, cursando postgrados, publicando trabajos científicos sobre la temática y concurriendo a numerosos encuentros regionales, nacionales e internacionales donde se presenta la problemática energética y las posibles soluciones y alternativas, en especial a nivel local.

SERIE CUADERNOS DE TRABAJO DOCENTES APRENDIENDO EN RED

El sector de Educación de la Oficina de Montevideo-Representación ante el MERCOSUR implementa sus acciones programáticas a nivel nacional y subregional en el marco del Proyecto Regional de Educación para América Latina y el Caribe (EPT/PRELAC 2007).

Los ministros de Educación de la Región han afirmado que la educación es un bien público y llave para la construcción de un mundo más justo, señalando siete temas centrales en sus recomendaciones (www.unesco.org/Santiago). Esta nueva serie de publicaciones, que hemos titulado Docentes Aprendiendo en Red (DAR) se nutre selectivamente de las recomendaciones referentes al "derecho de las personas a aprender a lo largo de la vida" desde "enfoques educativos para la diversidad, la inclusión y la cohesión social". La serie pretende acercar al docente lector materiales de apoyo educativo, elaborados por algunos de sus pares docentes que han sido participantes activos de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

A nivel nacional, implementar estas recomendaciones potencia una de las funciones de la UNESCO que denominamos "laboratorio de ideas". En ese sentido, la temática de acortar distancias entre las investigaciones universitarias y la formación de docentes en ciencias es uno de nuestros centros de interés programático. Entendemos que trabajar a favor de los educadores de la enseñanza demanda asistir técnicamente en el diseño de proyectores innovadores fundamentalmente en dos aspectos:

- a) Requerir y fomentar equipos con profesionales diversos que sean referentes para el tema seleccionado y se encuentren dispuestos a "Aprender juntos" (Delors 1996)
- b) Incluir en el diseño instancias colectivas de formación, discusión y planteo de dificultades conceptuales, con el objetivo de estimular aprendizaje y capacidades de producción de materiales escritos por docentes.

Los cuadernos de trabajo "Escritura en Ciencias" en el marco de la serie DAR han sido generados por el Instituto Nacional de Formación Docente del Ministerio de Educación de la Nación Argentina a través de una convocatoria abierta a los Institutos de Formación Docente de gestión pública de todo el país.

Los cuadernos de Escritura en Ciencias se ponen a disposición de formadores y alumnos de la formación docente como materiales de apoyo educativo elaborados por pares que han sido participantes activos como integrantes de equipos de trabajo que llevan adelante de proyectos innovadores asistidos por UNESCO.

El trabajo de los coordinadores ha sido complejo e indispensable para el éxito de este tipo de proyecto. Las contrapartes por países han hecho propio este diseño y ajustado a sus realidades temáticas y de arquitectura (presencial y/o virtual). De esta manera, la temática de Paraguay es "La Escritura en Paraguay", en Argentina "Escritura en Ciencias" y en Uruguay "Celebrando el Año Internacional de la Química". Los coordinadores generales, así como los de Escritura han desarrollado un análisis crítico del proceso y han sabido guiar las intrincadas relaciones generadas cuando se "aprende haciendo" contribuyendo a resolver conflictos y logrando el mejor documento posible. En ese sentido, vaya a todos ellos nuestro agradecimiento.

María Paz Echeverriarza
Profesional del Programa Educación
UNESCO Montevideo



Ejemplar de distribución gratuita. Prohibida su venta.