



Circe

Centro de Investigación
de Recursos y Consumos
Energéticos

**XV Años promoviendo
la eficiencia energética**

120 investigadores







Sumario

Carta del Director	2
XV años de CIRCE	4
Fines fundacionales	4
Los objetivos de CIRCE	5
Órganos de gobierno	7
Organización	8
CIRCE en cifras	14
Recursos humanos	14
Proyectos I+D+i	16
Publicaciones	18
Formación y actividades de transferencia	19
CIRCE y el futuro	24
Laboratorios	26

XV Aniversario CIRCE

Quince años. En estos quince años hemos aprendido quienes somos y adonde queremos ir. CIRCE ya tiene carácter propio y se nos identifica con lo que somos y como somos, en que trabajamos y como lo hacemos.

La puesta en marcha de CIRCE no estuvo exenta de controversias: crear una fundación en la que la Universidad, el Gobierno de Aragón y una empresa, Endesa, estuvieran juntos para promover la investigación aplicada parecía arriesgado. ¿Qué hace una sola empresa dentro de la Universidad?. Ni en aquellos momentos, ni aún hoy, se fomentan centros mixtos público-privados de investigación y eso fue el verdadero reto. Objetos de polémica fueron también la vieja dicotomía entre la investigación básica y la aplicada, o que el beneficio de la investigación ejecutada desde una Entidad pública fuera para una entidad privada. Sin embargo, la Universidad de Zaragoza nos dio paulatinamente su confianza año tras año. Los hechos y los resultados hablan por sí solos. Por ello damos las gracias a todos los que han tenido responsabilidades de gobierno en la Universidad de Zaragoza porque han confiado en el proyecto de CIRCE.

Hoy cientos de ex alumnos y ex colaboradores son directivos, directores, profesionales y empresarios en el mundo de la energía y forman una red cada vez más tupida y más internacional. Y cada año se forman más de 200 alumnos en energía que pertenecen a más de 20 países de todos los continentes.

En la actualidad, más de 150 profesionales de diferentes titulaciones y nacionalidades constituyen el acervo humano de CIRCE. A ellos, y a todos los que han colaborado con CIRCE de una u otra manera, es a quienes quiero agradecer de forma especial su dedicación y su aportación al éxito de esta aventura.

Casi 1400 proyectos avalan el trabajo realizado y la confianza que la sociedad ha puesto en nosotros. Tesis doctorales, artículos de investigación y patentes son algunos de los productos de este trabajo, pero lo más importante es el servicio a la comunidad y la formación de personas. Publicar es el medio, servir es el fin. Estamos al servicio de Aragón con una visión internacional que cuanto más amplia sea, mayor será nuestra capacidad de apoyo. Poner en valor los recursos energéticos y humanos de esta región ha sido nuestro objeto de trabajo: las energías renovables, el agua, el carbón, las redes eléctricas, la poligeneración o el medio natural así como formar personas conscientes de que la tecnología no es suficiente si no hay ética para que inspire sus decisiones.

Creemos en el trabajo duro y responsable y queremos contribuir con nuestro conocimiento y nuestro pensamiento al desarrollo sostenible. Después de quince años las ilusiones se han ido haciendo realidad, y los miedos se han despejado. Es el momento de dar las gracias a Endesa porque nunca han faltado sus encargos, contratando a CIRCE, año tras año, proyectos de I+D+i en sana competencia con otros centros. Hemos ido ganando su confianza con nuestro trabajo e

ideas, siendo esto la mejor demostración de que la competición, el esfuerzo y el saber adaptarse a las necesidades de quien requiere nuestro trabajo son el mejor camino de crecimiento. Hoy son cientos las empresas que contratan o han contratado a CIRCE, a las que agradecemos la confianza depositada en nuestro trabajo. Detectar las necesidades tecnológicas de las empresas, comprenderlas y apoyarlas es nuestro éxito. Estar un paso tecnológico por delante, hablando su lenguaje y ayudándoles en su desarrollo es algo que nos da la razón de ser. Hemos pasado del modelo de sponsorización de la investigación a ser socios de iniciativas empresariales. Mención especial debemos hacer aquí a SAMCA que recientemente se incorporó a nuestro Patronato y a Taim Weser como Entidad colaboradora.

Es difícil encajar esta forma de pensamiento en el esquema académico tradicional porque los logros investigadores se miden con instrumentos intermedios e indicadores a menudo alejados de la realidad industrial. Ser excelentes en ese ámbito no es suficiente si lo que se quiere es fomentar la transferencia y la excelencia tecnológica e industrial.

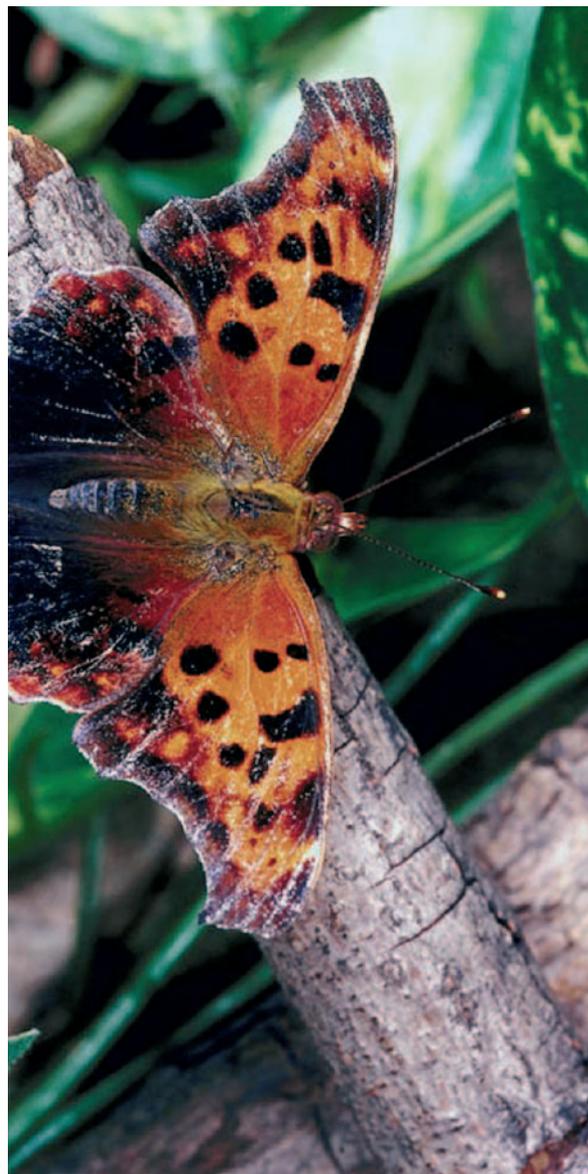
Si algo da sentido a las actividades de I+D+i realizadas en estos años es que luchamos por un mundo mejor. Una sociedad cuyas emisiones fueran cero y estuviera en paz con el planeta es el auténtico objetivo que sólo podremos conseguir si hacemos que toda nuestra investigación y nuestro trabajo se polaricen en esta dirección.

No se trata ya de que el trabajo sea reconocido, sino que como una pieza más en el encaje social, coadyuvemos en las decisiones estratégicas que encaminen y estructuran la sociedad del mañana. El rigor científico debe ser puesto en valor para resolver problemas que la sociedad demanda. El desarrollo sostenible es una materia de voluntad, reflexión,

conocimiento y decisión de todos los agentes. Si la energía es causante de muchos de los problemas medioambientales actuales, debemos aprender a utilizarla de la forma más racional posible y crear nuevas formas de aprovechamiento menos agresivas. La Universidad de Zaragoza a través de CIRCE se pone al servicio de la sociedad para contribuir a resolver estos problemas.

Pero por mucho que las empresas y la Universidad deseen esta alianza, es fundamental el apoyo de la Administración. Desde que CIRCE se creó no ha habido ni un solo Gobierno en Aragón en el que no hayamos encontrado apoyo. Los Departamentos de Ciencia, Tecnología y Universidad; Industria, Comercio y Turismo; Medio Ambiente; Economía o Presidencia, por citar algunos, nos han dado su confianza al encargarnos informes, planes, inventarios, balances, jornadas, acciones específicas, cursos o proyectos. Su valor nunca podría cuantificarse en términos económicos sino en el orgullo de haber contribuido a hacer de esta, una Comunidad más consciente de sus fortalezas y de sus debilidades en materia de energía y de cambio climático. Cuando la Administración contó con nuestros estudios para la toma de decisiones, es cuando tuvo pleno sentido la misión de CIRCE.

Pero nuestro ámbito no se ha quedado en el nivel regional. Estamos y queremos estar en la vanguardia de los proyectos nacionales y europeos en temas energéticos. El haber llevado personalmente la Gestión del Programa de Investigación Nacional en Energía desde 2004 hasta 2008 y representar como experto a España en temas de Energía ante el VII Programa Marco de la Unión Europea tiene un doble sentido: cada vez se valora más a CIRCE como un centro nacional y europeo de referencia en temas energéticos y a su vez hace que Aragón sea considerado y respetado en estos temas ampliando así sus oportunidades de desarrollo.



Y el futuro de CIRCE...

Los problemas ambientales son cada vez más acuciantes y ocurra lo que ocurra, el futuro debe pasar por un uso más racional y limpio de la energía, fomentando a la vez un acceso más universal a los recursos. Creemos que estamos en el buen camino. “Saber, Saber Hacer, Hacer y Hacer Saber” es nuestro motor de acción. Creceremos más, tendremos más egresados de más lugares de todo el mundo. Esperamos que los proyectos que se nos encomienden en el futuro sean numerosos, que la red de profesionales ligados a CIRCE se extienda y que tanto las empresas como las Administraciones puedan encontrar en CIRCE un firme apoyo a su desarrollo.

Entretanto dos retos inmediatos nos esperan. Uno es la puesta en marcha del nuevo Instituto Universitario de Investigación Mixto CIRCE de la Universidad de Zaragoza, recientemente aprobado, que permitirá una mayor inter-penetración con la Universidad aumentando el número de profesores colaboradores en proyectos de Investigación más ambiciosos y variados gracias a la rica savia existente en la Universidad de Zaragoza. El segundo es el Edificio CIRCE de la Universidad de Zaragoza, que debe convertirse en un referente nacional e internacional sobre bioconstrucción y arquitectura bioclimática así como un laboratorio vivo para demostrar que ahorrar energía no sólo es posible sino viable económicamente. Nos queda además el reto de albergar y hacer crecer los laboratorios de CIRCE ya existentes y hacer de ellos referentes internacionales.

Si un lema nos es especialmente querido es “Raíces y Alas”. Raíces para estar firmemente arraigados a la tierra que nos alimenta y Alas para ver el mundo y traer lo mejor de él a la tierra que nos acoge. En CIRCE queremos un mundo más verde y vital. ■

XV años de CIRCE

CIRCE ya ha cumplido sus primeros 15 años. Durante estos años de actividad la repercusión y trascendencia de sus actividades se ha reflejado en el ámbito científico y tecnológico y en la sociedad.

Con motivo de este aniversario, CIRCE ha echado la vista atrás y ha intentado resumir sus primeros 15 años de actividad. Parecen muchos, pero tenemos el convencimiento de que esto es sólo el comienzo...

Fines fundacionales

Desde su constitución en 1993 los fines fundacionales de CIRCE han sido:

- a) Apoyar las actividades de investigación, desarrollo e innovación en ámbito energético y sistemas energéticos en general.
- b) Potenciar la formación técnica de postgraduados y profesionales en ámbito energético.

Es en ellos donde radica la misión de CIRCE: fomentar un desarrollo energético sostenible así como el fortalecimiento de la capacidad emprendedora y tecnológica de las empresas del sector.

CIRCE ha planificado sus actividades con el fin de alcanzar el mayor número de beneficiarios posibles que pueden ser clasificados en tres grandes categorías:

1. Empresas del sector energético.
2. Alumnos.
3. La sociedad en general.

Gracias a los laboratorios de I+D+i, CIRCE realiza investigaciones científicas y tecnológicas que se materializan en nuevos conocimientos que, a su vez, aportan nuevos procesos, aparatos y servicios que pueden ser incorporados tanto en grandes empresas del sector energético, como en pequeñas y medianas empresas.

La constante generación de conocimiento se brinda a la sociedad a través de distintos programas de formación lo que postula a CIRCE como un centro de formación de excelencia gracias a la colaboración con la Universidad de Zaragoza.

La vocación de servicio a las empresas, que ha distinguido a CIRCE, está avalada por las empresas destinatarias de sus productos de I+D+i que ha ido aumentando de manera notoria a lo largo de los años, tanto en número como en volumen de actividad. ■

Los Objetivos de CIRCE

Los objetivos de CIRCE —Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos—, pueden resumirse en la promoción de **la eficiencia energética y las energías renovables** desde la evaluación de los recursos, pasando por la generación, el transporte y la distribución, hasta el uso racional de la energía.

Las palabras claves en CIRCE son: **ENERGÍA, ECO-EFICIENCIA Y TRANSFERENCIA.**

Los principales objetivos perseguidos por CIRCE pueden resumirse en los siguientes hitos:

- I+D+i - Investigación, Desarrollo e Innovación para el sector energético.
- Fomento de las Energías Renovables.
- Eficiencia y ahorro energético.
- Organización de seminarios, conferencias y actividades de divulgación en el sector energético.
- Publicación especializada de artículos científicos, libros y materiales de divulgación.
- Formación específica en optimización, eficiencia energética y energías renovables para postgraduados, directivos, técnicos y operadores del sector energético. ■

Principales líneas de actuación

CIRCE centra sus actividades en la eficiencia energética y las energías renovables y las actividades abarcan las siguientes líneas de I+D+i Investigación, desarrollo e innovación:



Análisis de sistemas de producción de electricidad con fuentes renovables

- Laboratorio de Metrología Eléctrica.
- Seguimiento de parques eólicos.
- Estudios de evaluación de potencial eólico y solar.
- Asesoramiento e innovación en campos tecnológicos eólico y solar.

Cocombustión

- Caracterización de secado y molienda de biomasa.
- Ajuste de mezclas de combustibles y de parámetros de combustión.
- Optimización de secado/molien-da/combustión.
- Evaluación de ensuciamiento y emisiones.

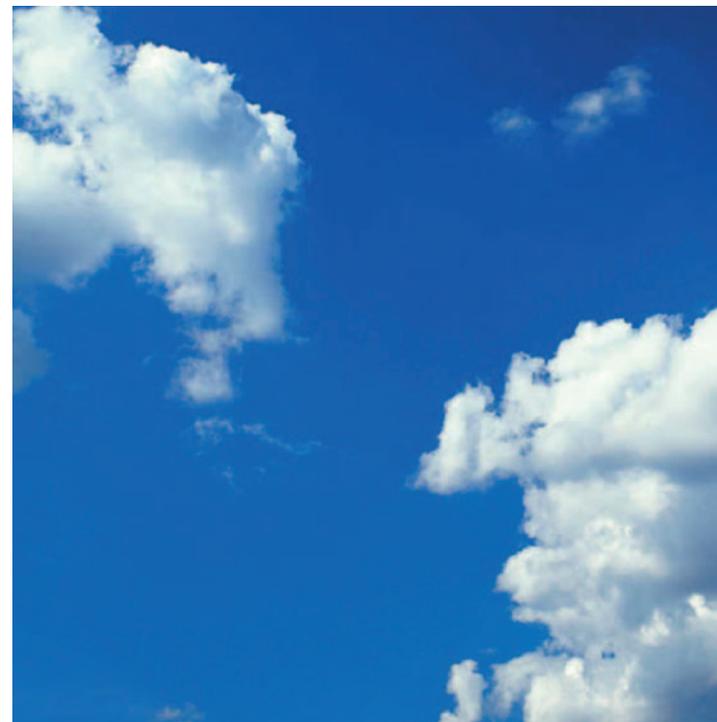
Integración de Energías Renovables

- Análisis del impacto en red de las energías renovables.
- Desarrollo de sistemas electrónicos de potencia para conexión a red.
- Estudios para la adaptación de PPEE al PO12.3: modelado de aerogeneradores.

- Desarrollo de sistemas de producción óptimo con distintas fuentes energéticas integradas.
- Análisis y gestión conjunta de unidades de generación.
- Análisis y desarrollo de sistemas de almacenamiento.
- Integración de sistemas de generación distribuida activa en microrredes de corriente continua.

Redes y Distribución Eléctrica

- Innovación y diseño de subestaciones eléctricas transformadoras: telemando y telecontrol, potencia y seguimiento.
- Innovación, ajuste, coordinación y ensayo de protecciones.
- Estudios de red: modelado de sistemas, flujos de carga, cortocircuitos, dimensionado de aparata y transitorios.



Reducción de Emisiones CO₂

- Oxidación de carbón y biomasa. Instalación experimental de lecho fluido.
- Análisis de sistemas de captura de CO₂ en postcombustión y precombustión.
- Integración y optimización de sistemas de captura.
- Evaluación de recursos de biomasa.

Termoeconomía y Análisis Exergético de Recursos Naturales y Agua

- Análisis y evaluación exergética del agua y recursos minerales. Costes exergéticos y ambientales asociados a dicha evaluación y su uso posterior.
- Producción combinada de electricidad, calor, frío y agua: poligeneración
- Diagnóstico termoeconómico de centrales térmicas y otros sistemas. Integración y optimización de los procesos para la reducción de energía primaria consumida y de emisiones asociadas.
- Evaluación ambiental (ACV) de tecnologías y procesos complejos.



Eficiencia Energética

- Ecoeficiencia.
- Eficiencia Energética en productos y procesos.
- Análisis de Ciclo de Vida.
- Eficiencia Energética en Edificios.
- Planificación energética.
- Tesis doctorales.
- Artículos científico-técnicos.
- Libros.
- Master y postgrados.
- Cursos en ámbito energético.
- Elaboración y asesoramiento en proyectos europeos e internacionales.
- Modelos de utilidad. ■

Divulgación y Transferencia de tecnología

- Difusión en el ámbito energético.
- Conferencias, Jornadas y seminarios.
- Tesis doctorales.

Órgano de Gobierno

Actualmente el Patronato de CIRCE está integrado por la Universidad de Zaragoza, el Gobierno de Aragón, el Grupo ENDESA y el Grupo SAMCA. Además se cuenta con Taim Weser como entidad colaboradora.

Durante estos años han sido Miembros del Patronato diferentes profesionales y representantes de las administraciones, desde estas páginas queremos agradecer su inestimable labor.

Dirección de CIRCE

Desde su constitución, Antonio Valero Capilla ha liderado este proyecto, coadyuvado por Mariano Sanz Badía, a quien CIRCE quiere agradecer su labor y dedicación durante todos estos años. ■

Patronos



Universidad de Zaragoza

GOBIERNO DE ARAGON



Organización

CIRCE está organizado en divisiones y servicios. Debido a su naturaleza dinámica, el número y nombre de estas divisiones han ido variando y aumentando conforme crecía la Entidad. Actualmente la actividad de CIRCE se desarrolla en cuatro Divisiones y el Servicio de Gestión.

División de Eficiencia Energética y Transferencia

Esta división cuenta con un equipo multidisciplinar de profesionales, investigadores y docentes, dedicados a las actividades de I+D+i y la promoción de la eficiencia energética, así como al desarrollo y gestión de planes de divulgación y la impartición de cursos de formación en el ámbito energético.

Las actividades se organizan en dos grandes áreas:

- **Área de Eficiencia Energética:** Ofrece actividades y proyectos a la vanguardia en cuanto a la tecnología para el uso eficiente de los recursos y el ahorro energético.

Los principales ámbitos de trabajo son:

- **Ecoeficiencia:** La implementación de programas de ecoeficiencia en las empresas permite adaptar y readecuar sus sistemas productivos, productos y servicios ofertados, minimizando el uso de recursos energéticos y de materias primas y estableciendo nuevas estrategias de gestión empresarial para conseguir una producción más limpia.
- **Eficiencia Energética en productos y procesos:** La realización de auditorías energéticas permite evaluar, clasificar y analizar los consumos y costes energéticos de los distintos equipos y procesos productivos de las empresas, identificando y valorando medidas concretas para la disminución de dichos costes, mediante la mejora del rendimiento y la integración de los procesos, así como las como la optimización de las condiciones de suministro energético.
- **Análisis de Ciclo de Vida:** En los estudios de ciclo de vida se evalúan las cargas ambientales asociadas a productos, procesos o actividades, identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno, con objeto de determinar su impacto en el medioambiente y evaluar y poner en práctica estrategias de mejora medioambiental.
- **Eficiencia Energética en Edificios:** Se analizan soluciones técnicas para obtener un ahorro de energía y materias primas en las fases de construcción y operación de los edificios, minimizando su impacto ambiental a través del uso combinado de técnicas de modelización del comportamiento energético de los edificios y de análisis de ciclo de vida. Asimismo, dentro de esta línea, se proporciona asesoramiento para la mejora de la calificación energética de edificios.

- **Planificación energética:** La conservación y el uso racional de los recursos plantean la necesidad de incorporar la eficiencia energética en las políticas globales y en los planes sectoriales de desarrollo regionales y locales, así como la inmediata aplicación de programas e instrumentos de gestión de la demanda y estrategias para el control y la reducción de emisiones.
- **Área de Transferencia de Tecnología:** En este área pueden diferenciarse dos líneas de actuación diferentes: la Formación y la Transferencia. Cada línea cuenta con personal especializado y sobre todo con la profesionalidad y experiencia de todo el personal de CIRCE para alcanzar unos resultados integrados destinados a la formación y fomento de las energías renovables y la eficiencia energética.

Las principales líneas de actuación de este área son:

- **Formación de Postgrado:** Desde hace más de una década CIRCE promueve Masters y cursos de postgrado de la Universidad de Zaragoza, todos ellos en ámbito energéticos como puede apreciarse en los capítulos siguientes.
- **Formación Técnica de Profesionales:** Anualmente se imparten módulos formativos a distintos niveles dirigidos a profesionales, técnicos e instaladores del sector.
- **Acciones de Difusión y Transferencia:** Desde esta área de CIRCE se promueven y coordinan los distintos planes de divulgación, difusión y sensibilización para la promoción de la eficiencia energética y las energías renovables que anualmente se llevan a cabo. Además se dinamiza el proceso de transferencia de tecnología a través de publicaciones especializadas y distintas acciones de fomento y transferencia de conocimiento. ■



División Eléctrica

La División Eléctrica de CIRCE centra sus actividades de I+D+i en el marco del sistema eléctrico: generación, transporte, distribución y utilización de la energía eléctrica. El rápido incremento de la penetración de las energías renovables en el sistema eléctrico, en especial la energía eólica seguida de la solar, ha originado numerosas necesidades en el campo de la I+D. Con el fin de cubrir estas necesidades la División Eléctrica se ha organizado en las siguientes Áreas (en orden alfabético):

- **AIRE: Análisis Integral de Recursos Energéticos.** Las actividades de AIRE comenzaron en el año 1998, y están centradas en dos ámbitos distintos del análisis de recursos energéticos. Por un lado, se realizan actividades de I+D en evaluación de recursos eólicos y solares, y por otro, se estudia el rendimiento de distintas instalaciones renovables. Actualmente se estructura en dos grupos de trabajo:
 - **Grupo de medida y ensayo de recursos energéticos:** Está centrado en la monitorización y análisis de sistemas de producción eléctrica mediante fuentes renovables y de sistemas eléctricos en general. Se investigan tanto técnicas de análisis de calidad de la energía como nuevos sistemas de medida integrados y multifuncionales.
 - **Grupo de análisis del recurso y producción eólica:** El grupo de trabajo de análisis del recurso eólico posee amplia experiencia en las tareas de análisis de recurso eólico. CIRCE ha sido considerado como centro homologador de estudios de viento y micro-siting, por parte de administraciones públicas. Así mismo, varios bancos y cajas de ahorro consideran los estudios presentados como fiables para el estudio de viabilidad del parque eólico.
- **GISEP: Área de Investigación en Sistemas Eléctricos de Potencia.** La herramienta fundamental del Área es la simulación, sin embargo, todos sus desarrollos mantienen una viva y estrecha relación con los trabajos y medidas de campo. En los últimos años la actividad experimental ha cobrado una gran importancia, siendo actualmente una actividad de un volumen similar a las simulaciones. El Área de investigación en sistemas eléc-

tricos de potencia GISEP está especializada en dos grandes líneas de I+D que se estudian desde los dos grupos que la componen: Grupo de estudios dinámicos del impacto en red de la generación eólica y el Grupo de protecciones eléctricas.

- **IER: Integración de Energías Renovables.** Las actividades de I+D+i del Área de Integración del Energías Renovables se desarrollan en el ámbito de la integración de las energías renovables y su conexión al sistema eléctrico, así como en el desarrollo de sistemas de mejora de la calidad de red. La integración se lleva a cabo mediante el desarrollo de configuraciones electrónicas de potencia que, además de permitir la generación a velocidad variable obteniendo el máximo aprovechamiento del recurso renovable, incorporan otra serie de funciones de protección y estabilización del sistema eléctrico que pueden estar operativas aún en el caso de ausencia de recurso, permitiendo así mismo su funcionamiento aislado de red. Los sistemas desarrollados son capaces de soportar los huecos de red de acuerdo al procedimiento de operación P.O.12.3.
- **SET: Subestaciones Eléctricas.** Supuso en 1993 el origen de la actual División Eléctrica de CIRCE. Cuenta con amplia experiencia en la innovación tecnológica de SET's incluyendo desde los sistemas de mando y protección, hasta el sistema de potencia. En la actualidad, el grupo SET, está homologado por ENDESA Distribución para la realización de Innovaciones en las Subestaciones Eléctricas Transformadoras. En los últimos años, el grupo se ha especializado en la normalización y configuración tipo de equipos de control, medida y protección. ■

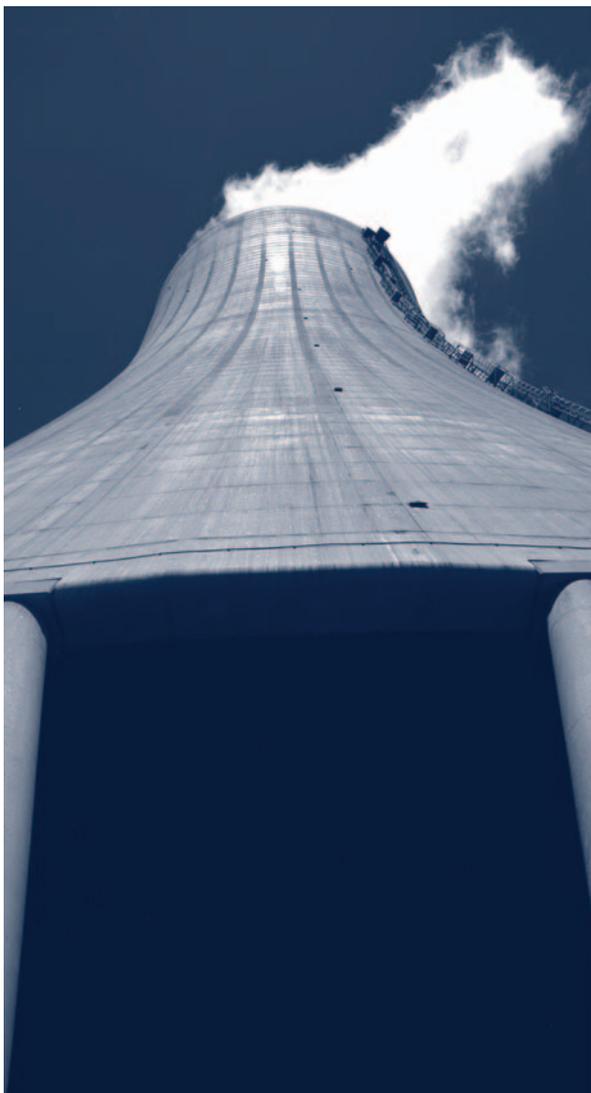


División de Recursos Naturales

Centra sus actividades de I+D+i en el marco de la eficiencia de las conversiones en sistemas energéticos, incidiendo también en la evaluación termodinámica (exérgica), técnico-económica y ambiental de los recursos naturales que serán convertidos en energía útil. Entre dichos recursos naturales no se incluyen la energía solar y eólica, que son tratadas de forma específica en la División Eléctrica de CIRCE, ni el agua como recurso hidroeléctrico o vector energético para la integración de renovables.

Las actividades de la División de Recursos Naturales se organizan en dos Áreas:

- **BERA: Biomasa: Evaluación, Recursos y Aprovechamiento.** Aunque el grupo BERA también ha trabajado en el pre-tratamiento de la biomasa y en la puesta en marcha de una instalación de cocombustión en una central térmica convencional, actualmente está centrada en la evaluación de recursos biomásicos y en su aprovechamiento a pequeña escala, para calderas domésticas.
- **TAER: Termoeconomía y Análisis Exérgico de Recursos naturales y agua.** Centrado en la Termoeconomía como base teórica para la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones energéticas existentes, así como para la evaluación y análisis de la calidad y la degradación energética de los recursos naturales existentes. Es remarcable entre otras actividades el análisis del recurso “agua” desde el punto de vista de su valoración exérgica y el coste energético y medioambiental de su producción o regeneración, así como su integración con los procesos energéticos (poligeneración). ■



División Térmica

Es la división más antigua de CIRCE, desarrollando trabajos de I+D+i en el marco de proyectos tanto con financiación pública como con financiación privada desde 1993.

Cuenta con una plantilla de profesionales altamente cualificados y con sobrada experiencia. Desarrolla sus actividades en estrecha colaboración con el departamento de ingeniería Mecánica del Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza.

Esta división centra en la actualidad sus actividades en dos líneas:

- **Tecnologías de uso limpio del carbón y cocombustión con biomasa:** Centrada inicialmente en la mejora del rendimiento energético y del impacto ambiental de centrales térmicas de carbón, desde el año 2000 incluye

la investigación de tecnologías de cocombustión de carbón y biomasa, aprovechando el conocimiento común de ambos procesos y avanzando en el uso eficiente de la biomasa como combustible en grandes instalaciones industriales.

- **Reducción y captura de CO₂:** El objetivo es contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas para disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Originalmente centrada en grandes plantas de potencia, actualmente se extiende a otros sectores industriales. El reto es desarrollar, validar y aplicar tecnologías novedosas que permitan, simultáneamente, mejorar la eficiencia de sistemas térmicos (en particular ciclos de potencia), reducir las emisiones de CO₂, capturarlo y producirlo en condiciones adecuadas para su transporte y almacenamiento.

Para el desarrollo de las actividades, esta división lleva la dirección de dos de los laboratorios CIRCE: el de Cocombustión y el de Oxidación. ■



Infraestructuras CIRCE

Edificio CIRCE

CIRCE tendrá su sede (fecha prevista primer semestre de 2009) en el Edificio del “Centro de Eficiencia Energética CIRCE de la Universidad de Zaragoza” cofinanciado por el Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad del Gobierno de Aragón y Fondos FEDER, y en el que colaboran activamente tanto la Universidad como CIRCE.

El edificio será un Centro de demostración de la Innovación, Investigación y Desarrollo de Eficiencia Energética. En la concepción del edificio se han contemplado e incorporado las tecnologías más avanzadas en el campo de las energías renovables y el desarrollo sostenible. Este edificio servirá de demostración de las mismas, al tiempo que se concibe como



en objeto de investigación para la constante mejora de los conocimientos en los campos de la arquitectura bioclimática y bioconstrucción.

Su ubicación en un área de alta intensidad innovadora, por su proximidad y conexión con centros públicos de I+D como la Universidad de Zaragoza, el Instituto Tecnológico de Aragón, etc, potencia su característica de centro innovador al servicio del tejido empresarial. ■

Laboratorios

CIRCE, en colaboración con la Universidad de Zaragoza, cuenta con unos laboratorios propios de última generación dedicados a la investigación y a la innovación para el sector energético.

Gracias a estos laboratorios, CIRCE es capaz de realizar investigaciones y desarrollos tecnológicos del más alto nivel y de ofrecer servicios avanzados de I+D a las empresas del sector energético.

Laboratorio de Cocombustión

El laboratorio de cocombustión de biomasa está enfocado al ciclo completo de la biomasa en aprovechamientos energéticos en que esta se quema como combustible único o mezcla con combustibles convencionales. Tres instalaciones experimentales independientes a tamaño semiindustrial reproducen los procesos de secado, molienda y combustión en suspensión, con instrumentación suficiente para emprender campañas de caracterización de materiales, de escalado con vistas a proyectos industriales y de estudio de problemas operativos.

Laboratorios de Ensayo de Protecciones Eléctricas

La evolución que está sufriendo el sistema eléctrico así como la búsqueda constante de la mejora de los factores de calidad del mismo provoca la necesidad de adaptaciones y mejoras en los sistemas de protección. En este laboratorio se investigan diversos aspectos relacionados con estos sistemas como son: nuevos algoritmos de protección de distancia, automatización del proceso de parametrización, localizadores de faltas, protocolos de comunicación según la IEC 61850...

Laboratorio de Integración de Energías Renovables

La generación distribuida y la integración de energías renovables están llamados a provocar una revolución en la concepción de la generación y distribución de la energía eléctrica. Este laboratorio permite el ensayo experimental de sistemas de generación distribuidos. En él se investigan técnicas de control de producción de energías renovables y sistemas de almacenamiento que primen la estabilidad del sistema eléctrico, así como técnicas de gestión de consumo y producción en redes débiles.

Laboratorio de Metrología Eléctrica y curvas de potencia

El LME cumple todas las especificaciones de la norma ISO 17025 además dispone de acreditación ENAC en diversos tipos de ensayo en el área de Aerogeneradores y Redes de Distribución. La acreditación obtenida, puede ser consultado en la web de ENAC. Este laboratorio es la base para una serie de investigaciones en nuevos sistemas de medida para el análisis integral tanto de sistemas de producción eléctrica renovables como de las redes eléctricas. Además se realizan otra serie de investigaciones dirigidas a la mejora de la precisión en la medida de corriente.

Laboratorio Móvil de Ensayo de Huecos de Tensión en Aerogeneradores (MEGHA)

El incremento de la potencia eólica instalada ha hecho que los operadores del sistema de los diferentes países deban replantear sus procedimientos de operación para adaptarlos a este nuevo tipo de generación, de modo que su incorporación no afecte a la seguridad y fiabilidad del sistema. Uno de los nuevos requisitos de conexión que afectan a la generación eólica es la continuidad de suministro durante huecos de tensión. Este laboratorio permite ensayar en campo este tipo de requisitos.

Laboratorio de Oxidocombustión y de Lechos Fluidos Circulantes

En estas instalaciones se estudian aspectos claves para la mitigación de las emisiones de CO₂ de centrales térmicas mediante la captura de este gas. Por un lado, la combustión en lecho fluido usando mezclas de oxígeno en lugar de aire para producir una corriente de CO₂ puro, y por otro, la separación del CO₂ de gases de combustión convencionales mediante el ciclo de calcinación-carbonatación. ■

CIRCE en cifras



Recursos Humanos

CIRCE ha crecido mucho desde 1993, pero ha sido en los últimos diez años, y más concretamente en los tres últimos ejercicios, cuando CIRCE ha tenido su gran despegue. En concordancia con su creciente volumen de ingresos y actividades, ha alcanzado casi las 150 personas vinculadas a sus actividades, como se puede apreciar en el gráfico 1.

La variedad de perfiles y la interdisciplinaridad del conjunto permiten reunir en CIRCE al equipo más eficiente para cada actividad, y capaz de producir unos resultados de alta calidad.

El Personal de CIRCE se reparte en 4 grandes categorías:

- Investigadores.
- Profesores Colaboradores de la Universidad de Zaragoza.
- Personal de Administración y Servicios.
- Otros Colaboradores.

La evolución que han tenido las diferentes categorías de personal que conviven en CIRCE pone de manifiesto el notable incremento del número de contratados debido al proceso de consolidación de la plantilla emprendido en los últimos años: en la actualidad se cuenta con una plantilla de más de 70 contratados con dedicación exclusiva. La presencia de profesores de la Universidad de Zaragoza que colaboran en actividades de investigación ha sido siempre la piedra angular de las actividades de CIRCE. Así mismo mencion especial merecen los becarios de investigación, ya que la formación del personal investigador es uno de los objetivos de CIRCE desde su constitución. ■

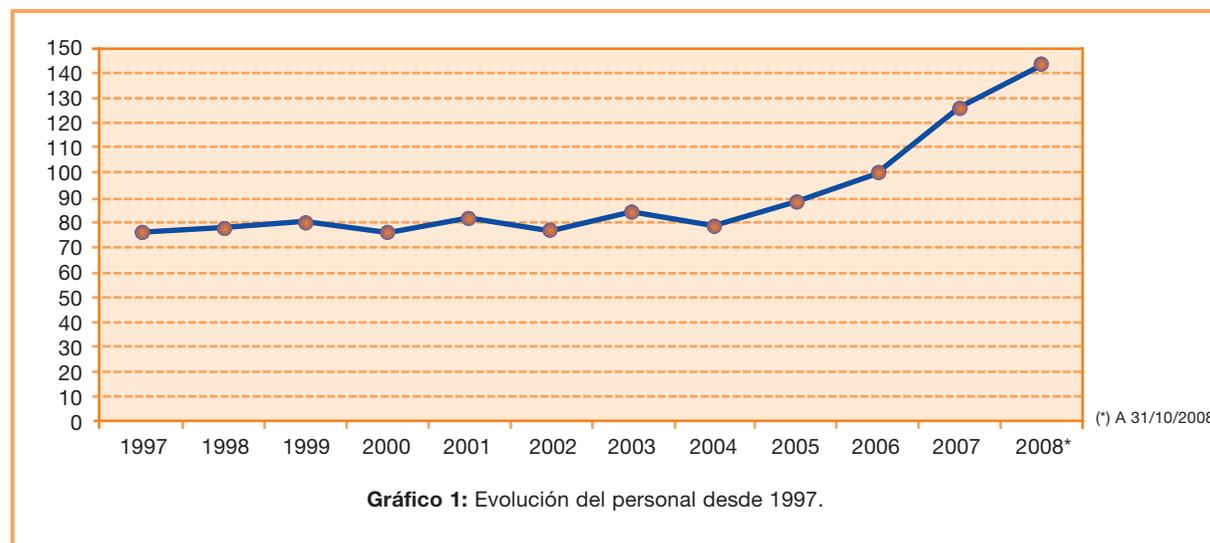


Gráfico 1: Evolución del personal desde 1997.

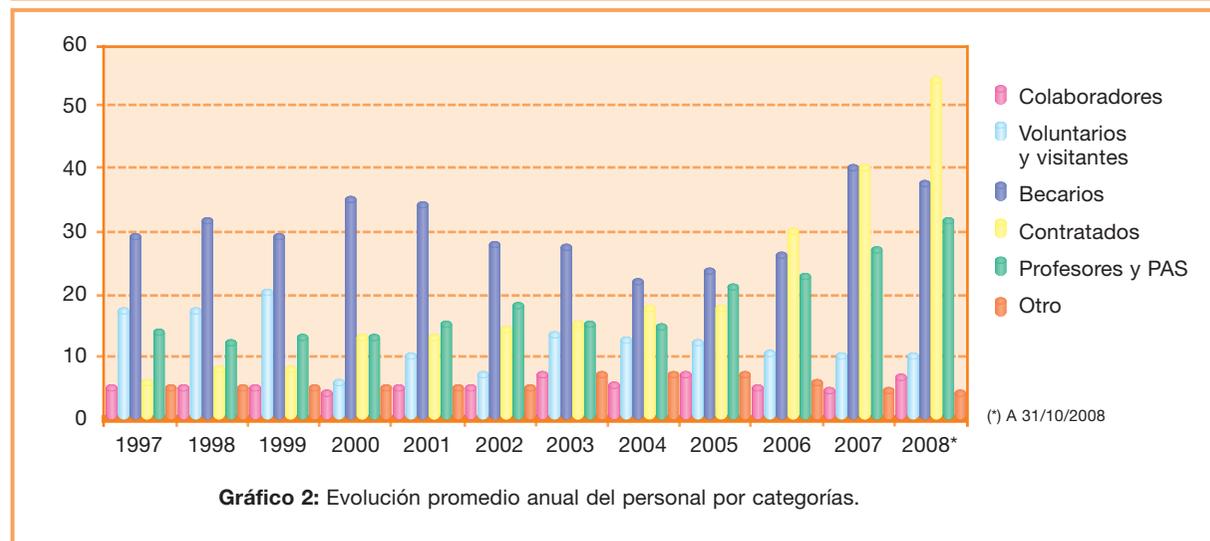


Gráfico 2: Evolución promedio anual del personal por categorías.

Proyectos I+D+i

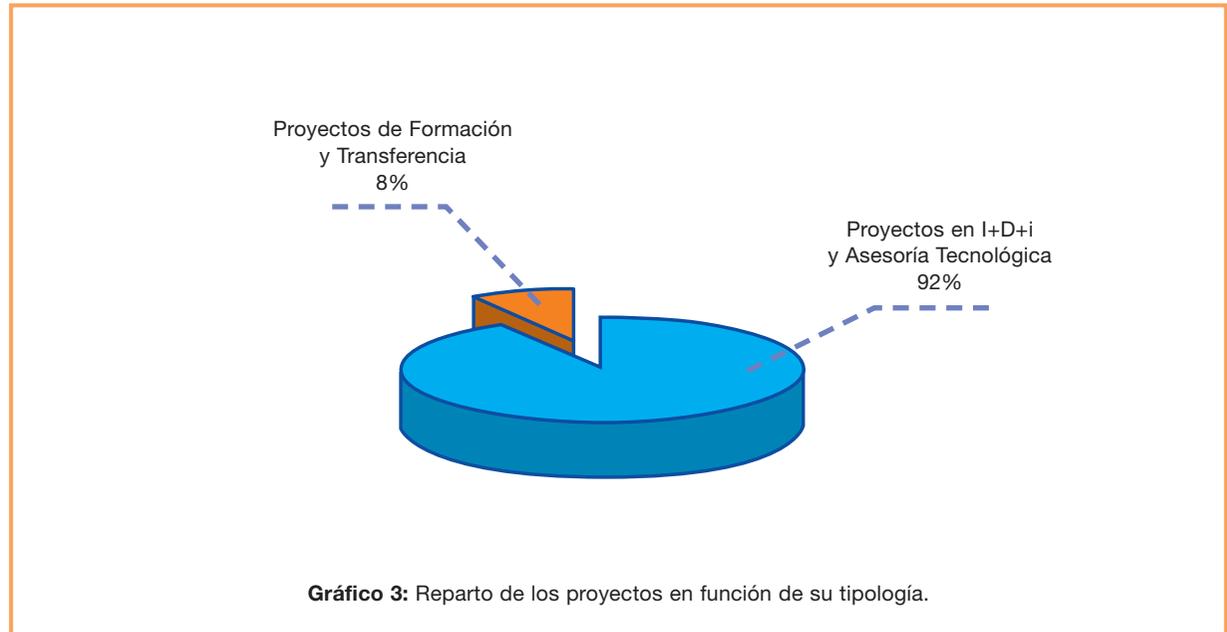


La vocación de CIRCE es servir al desarrollo y a la innovación en el ámbito energético a nivel local, nacional e internacional con un compromiso real en la solución de los problemas tecnológicos orientados a la mejora de la eficiencia energética.

Estos principios no son una simple declaración de intenciones sino un hecho constatado a lo largo de estos 15 años de existencia por los 1.326 proyectos ejecutados, de los que la inmensa mayoría corresponden a actividades de I+D+i y asesoría tecnológica, como se puede apreciar en el siguiente gráfico.

En cuanto al reparto entre las actividades desempeñadas en la persecución de sus fines cabe destacar que los proyectos de I+D+i han representado el 92% del total en el promedio de los últimos años, correspondiendo el porcentaje restante a la formación y divulgación.

	Número
Proyectos en I+D+i y Asesoría Tecnológica	1.216
Proyectos de Formación y Transferencia	110



A lo largo de su trayectoria CIRCE ha demostrado su capacidad de servir al desarrollo tecnológico y de autofinanciarse, hecho que ha sido posible gracias al trabajo y dedicación de todo su personal. Sirvan estas líneas de agradecimiento a todas aquellas personas que han pasado por CIRCE durante estos 15 años.

Desde su constitución, la mayoría de las actividades de CIRCE van dirigidas al sector privado, como puede apreciarse en el gráfico siguiente.

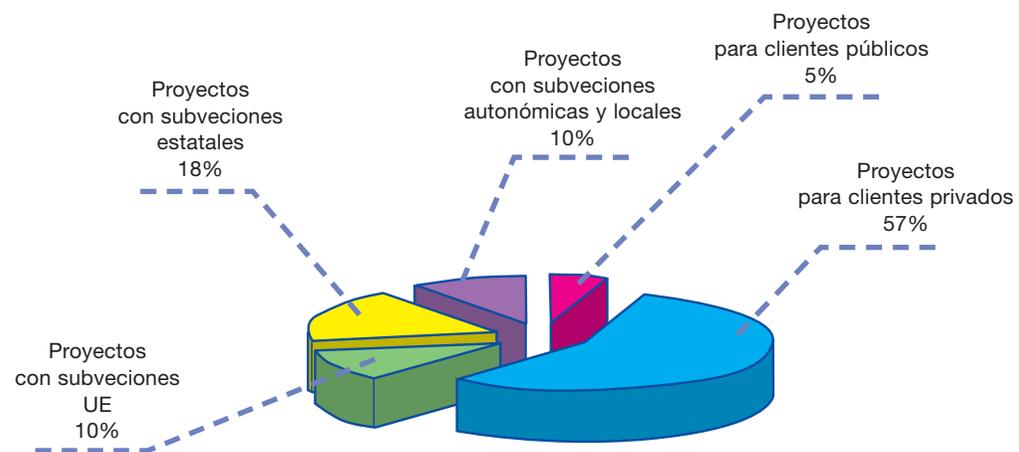


Gráfico 4: Promedio de proyectos de CIRCE según su fuente de financiación durante los últimos 10 años.

Si el promedio de los últimos 10 años pone de manifiesto la capacidad de CIRCE de ofertar actividades innovadoras al sector industrial, la evolución de los proyectos según la fuente de financiación demuestra la tendencia creciente en CIRCE a responder a las necesidades del sector privado, de hecho los proyectos ejecutados para empresas han experimentado el mayor crecimiento en los últimos años como puede apreciarse en el siguiente gráfico. ■

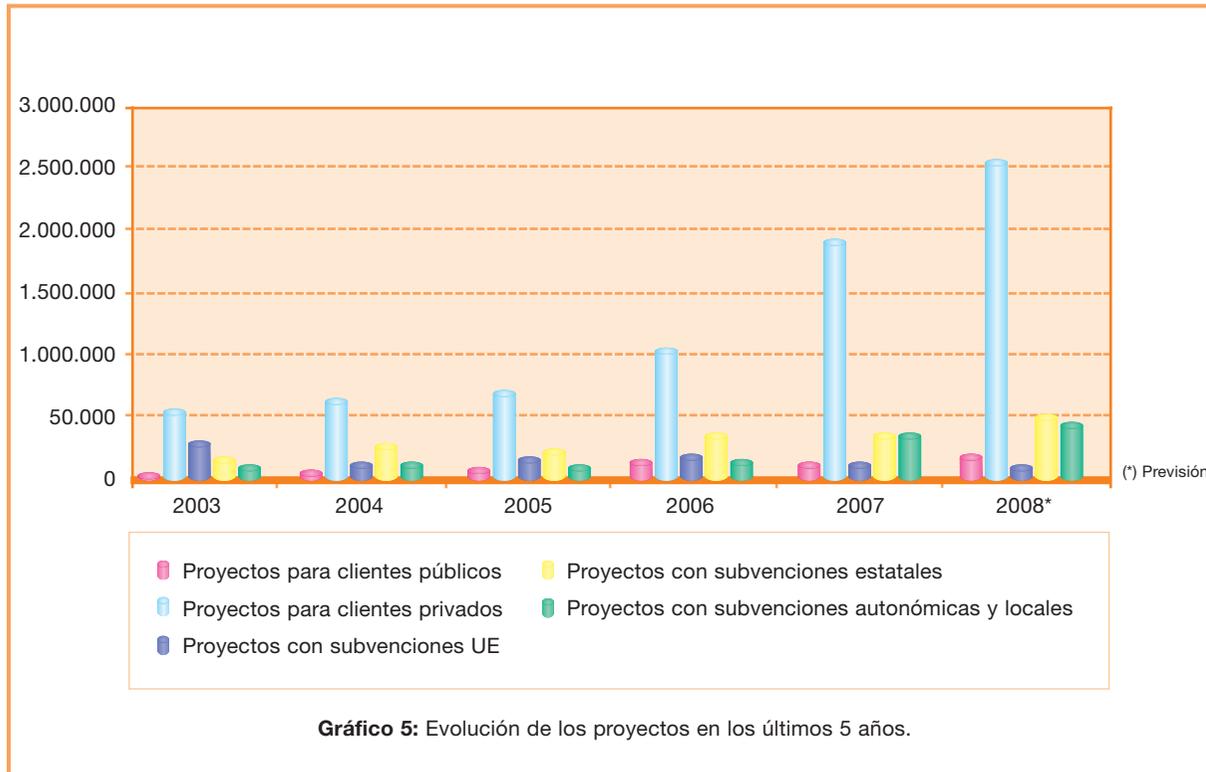
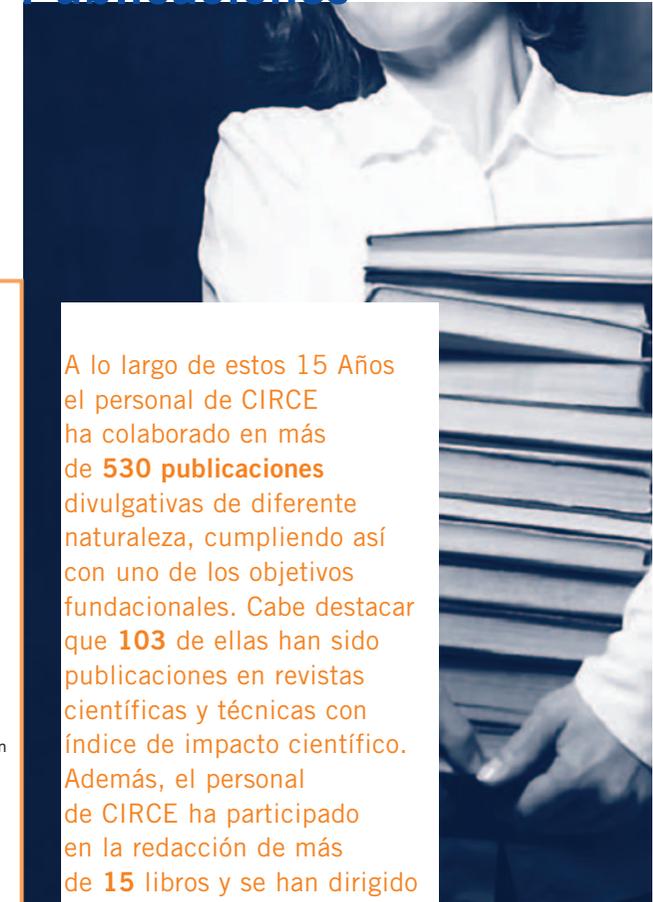


Gráfico 5: Evolución de los proyectos en los últimos 5 años.

Publicaciones



A lo largo de estos 15 Años el personal de CIRCE ha colaborado en más de **530 publicaciones** divulgativas de diferente naturaleza, cumpliendo así con uno de los objetivos fundacionales. Cabe destacar que **103** de ellas han sido publicaciones en revistas científicas y técnicas con índice de impacto científico. Además, el personal de CIRCE ha participado en la redacción de más de **15 libros** y se han dirigido **42 tesis doctorales** que han contribuido a incrementar los conocimientos de la comunidad científica. ■

Formación y actividades de transferencia



Formación de postgrado

Formar a profesionales especializados en energía y eficiencia energética ha sido siempre un objetivo prioritario de CIRCE. Por ello lleva 10 años colaborando con el Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza en la impartición de Masters y postgrados en el ámbito energético.

Todos los cursos promovidos responden a unas características comunes:

- Formación eminentemente práctica
- Participación de profesorado procedente del sector empresarial
- Prácticas en empresas.
- Alta inserción laboral apoyada por una bolsa de prácticas

CIRCE siempre ha intentado que los Masters y postgrados que promueve estén adaptados a las necesidades de formación de nuestra sociedad y por ello actualmente en la oferta disponible pueden encontrarse postgrados tanto en versión tanto presencial como on-line e inclusive un Postgrado en inglés.

En el curso 2008-2009 CIRCE promueve los siguientes Estudios Propios de la Universidad de Zaragoza:

- 10ª edición del Máster Europeo en Energías Renovables y 6ª edición en su versión semi-presencial.
- 5ª Máster en Ciclos Combinados, Cogeneración y Sistemas Avanzados de Generación Eléctrica en modalidad semi-presencial.
- 6ª Máster en Ecoeficiencia y Mercados Energéticos y este año 1ª edición en su modalidad semi-presencial.
- 7º Postgrado en Energía de la Biomasa (en inglés)
- 6º Postgrado en Energías Renovables.
- 4º Diploma de Especialización en Hidrógeno y Pilas de Combustible.

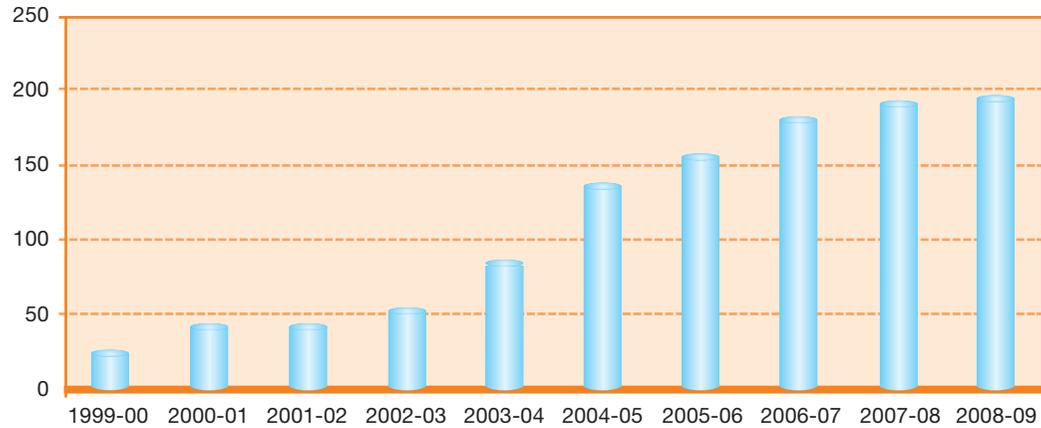


Gráfico 6: Evolución de alumnos en postgrados.

Además desde CIRCE se apoya el Curso de Doctorado en Energías Renovables y Eficiencia Energética de los Departamentos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza. El interés creciente que los cursos de postgrado promovidos por CIRCE despiertan entre el alumnado queda patente por los más de 150 alumnos que anualmente se matriculan en ellos.

En los últimos 10 años, más de **918 alumnos** han egresado de los diferentes estudios.

La internacionalidad de estos estudios viene avalada por la impartición del European Master in Renewable Energy promovido por CIRCE en colaboración con EUREC y 9 Universidades Europeas, además por las diferentes nacionalidades de los estudiantes que proceden de todos los rincones del mundo como puede apreciarse en el gráfico 7. ■

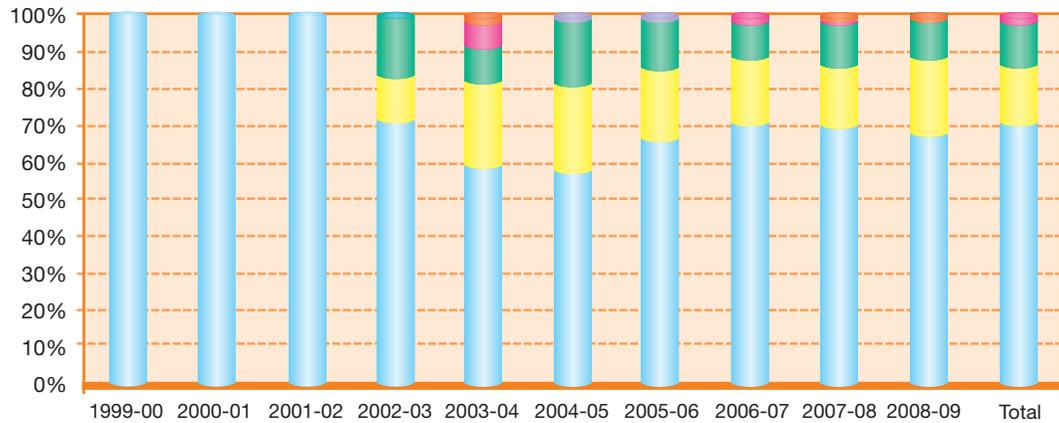


Gráfico 7: Reparto de alumnos por zonas geográficas.



Formación para técnicos

CIRCE no olvida la formación del personal técnico para el sector energético a todos los niveles. Por ello fue homologado en el 2000 como Centro Colaborador del Gobierno de Aragón para impartir cursos para el empleo. Desde entonces viene ejecutando distintos cursos financiados por el Gobierno de Aragón —INAEM— y el Fondo Social Europeo dirigidos a desempleados. En los casi ocho años de realización de los mismos, CIRCE ha formado a **492** técnicos y profesionales.

A estas actividades, hay que añadir además las acciones formativas en materia energética específicamente diseñadas para empresas y para el sector industrial y los cursos que, desde el año 2007 se han impartido en colaboración con el Instituto Tecnológico de Aragón (ITA). ■

Actividades de divulgación

CIRCE organiza anualmente eventos de divulgación para realizar la labor de transferencia de los resultados de investigación conseguidos y para promocionar el uso de las energías renovables y el uso eficiente de los recursos energéticos.

En este contexto se han organizado reuniones y conferencias para los agentes del sector energético, los estudiantes y el público en general, así como campañas de difusión para la eficiencia energética, charlas, etc.

La capacidad de transferencia y divulgación queda patente en las más de 996 acciones de divulgación de diferente calado que se han desarrollado desde 2005, en sólo 3 años.

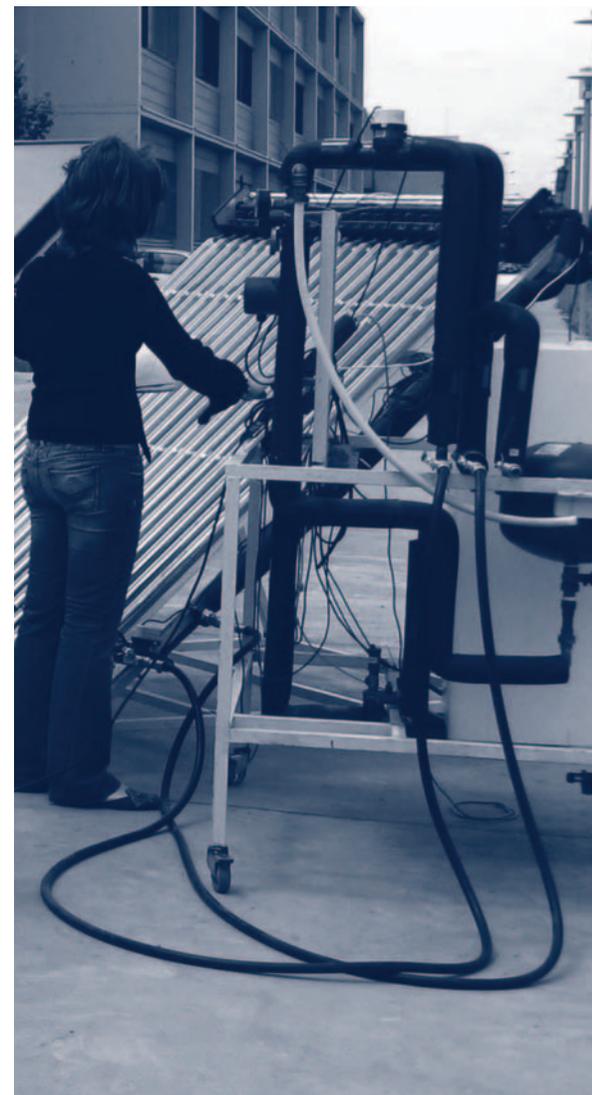
Desde su creación en el 2001 la Oficina de Transferencia de los Resultados de Investigación (OTRI) de CIRCE ha ido también aumentando notablemente el volumen de sus actividades de transferencia y demostración divulgando los resultados obtenidos por los Grupos Investigadores y promoviendo la eficiencia energética. ■

Programa de Becas y Ayudas

Desde su creación, CIRCE dedica una atención especial a la formación de personal investigador de postgrado con la doble finalidad de:

- Profundizar en los conocimientos teóricos a través de contribuciones concretas en proyectos de investigación.
- Coadyuvar la formación teórica con altos contenidos prácticos a través de la aplicación de los resultados de la investigación directamente en la empresa, facilitando así la futura introducción de los postgraduados en el mundo empresarial.

El programa de Ayudas y Becas para la Formación de CIRCE se articula en 4 tipos de ayudas y becas: de iniciación a la investigación; de formación de personal investigador; de cooperación educativa y el desarrollo de prácticas de formación. Además se cuenta con 1 línea específica de ayudas para cursar Estudios de Postgrado. En total se han promovido hasta la fecha 237 convocatorias de Becas de Iniciación a la investigación; 56 Becas FPI de Formación de Personal Investigador; 53 becas de cooperación; 12 becas de prácticas en CIRCE y 21 ayudas para cursar estudios de postgrados de la Universidad de Zaragoza. ■

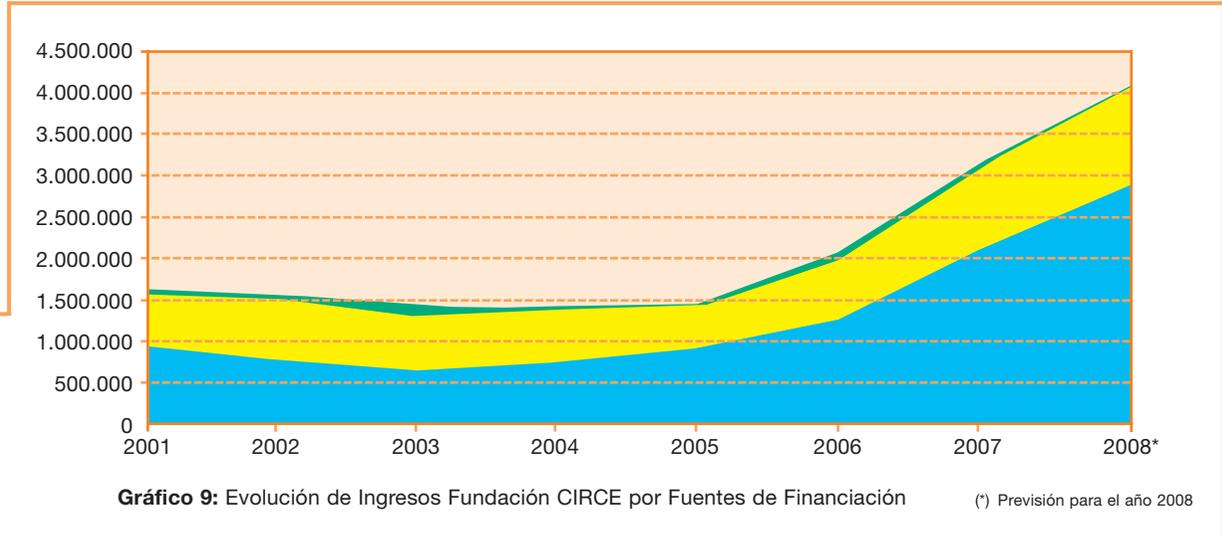
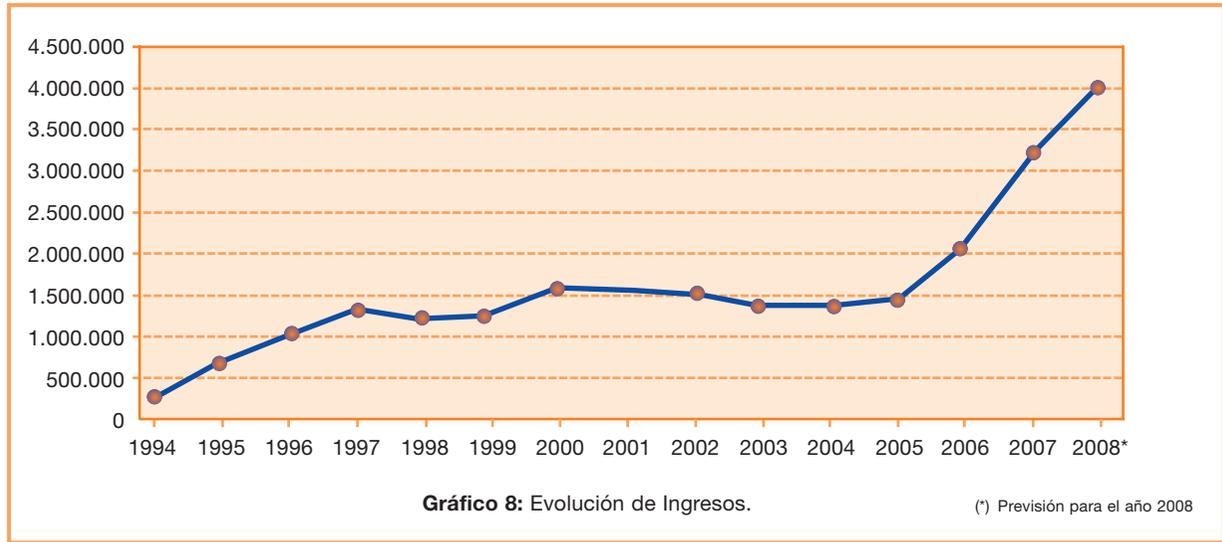


Balance económico

Ingresos

El volumen de ingresos ha ido creciendo año tras año. Este crecimiento (de más del 50% durante los ejercicios 2006 y 2007) ha conllevado un aumento y consolidación de la plantilla, y de las inversiones, poniendo en marcha diferentes laboratorios de I+D+i.

Cabe destacar la capacidad de autofinanciarse de CIRCE, demostrada año tras año gracias al trabajo en equipo y a un constante proceso de innovación. Analizándose la evolución de ingresos según su procedencia (gráfico 9), destacar que durante los últimos años la mayor parte de los ingresos corresponden a proyectos financiados a través de contratos con empresas privadas. El porcentaje de este tipo de ingresos, destinados mayoritariamente a acciones de I+D+i y transferencia tecnológica, se ha incrementado notablemente respecto al total. Las subvenciones (aproximadamente el 35 %) representan una fuente de ingresos destacable, sobre todo para las actividades de investigación y formación, procediendo en todos los casos de subvenciones concedidas en régimen competitivo.



- Contratos
- Subvenciones
- Otros

Analizándose los ingresos, puede apreciarse que el 87 % corresponde a las actividades de investigación, desarrollo e innovación en el ámbito energético, correspondiendo el 13% restante al otro fin fundacional que son las actividades de formación y divulgación.

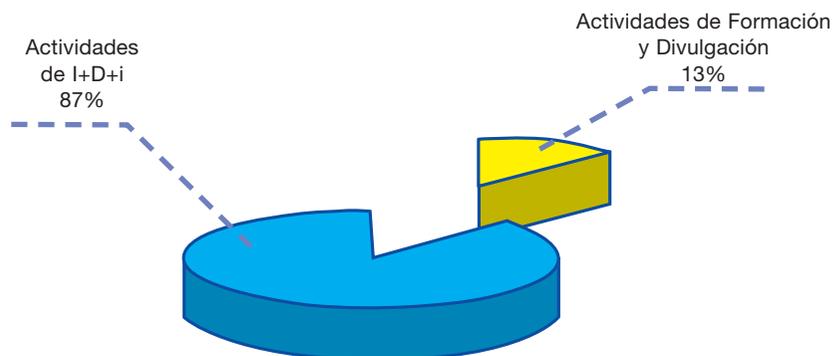


Gráfico 10: Reparto del total de los ingresos desde 2001 según las actividades.

Beneficios y donaciones

Duros fueron los dos primeros años, pero pasados éstos CIRCE siempre ha cubierto las expectativas, demostrando desde su creación la viabilidad de su proyecto y su solvencia científico-tecnológica.

Aunque desde su constitución CIRCE ha arrojado unos beneficios totales de más de 1.327.000 euros hasta la fecha, los principales beneficios de CIRCE han sido en el ámbito medioambiental y social. En cumplimiento de sus fines fundacionales CIRCE ha promovido la eficiencia energética, las energías renovables, la reducción de emisiones, etc. y la persecución de sus objetivos iniciales durante 15 años es la mejor aportación que se le puede atribuir. ■



CIRCE y el Futuro



CIRCE confía en que es posible el desarrollo energético sostenible. Por ello a lo largo de estos 15 años ha demostrado que se pueden generar alternativas eficientes, sostenibles, sociales y económicamente viables para afrontar algunos de los mayores retos medioambientales y sociales de nuestros tiempos.

Pero el compromiso no acaba aquí, en el futuro la labor investigadora continuará desarrollándose en la búsqueda del beneficio social y medioambiental en el marco de la innovación, el desarrollo y la transferencia de conocimiento en el sector energético.

CIRCE seguirá desarrollando proyectos, que permitan cambiar el modelo actual de producción y consumo, fomentando la “eficiencia energética” como herramienta clave para lograr este cambio. A lo largo de estos años no hemos cesado en el empeño de mostrar el concepto de “eficiencia energética”, como la base de un crecimiento económico, que contribuya a mitigar el cambio climático. En este empeño, nuestra labor futura contribuirá a la transferencia de conocimiento en el ámbito energético y potenciará la valorización de resultados de investigación, que traten de mejorar el bienestar social.

La trayectoria profesional refleja el esfuerzo efectuado en aras de lograr un desarrollo económico sostenible, que avala las previsiones futuras de CIRCE por continuar impulsando proyectos de investigación, desarrollo e innovación en el ámbito energético, donde la “eficiencia energética” sea el vehículo que conduzca al desarrollo económico, social y medioambiental. ■



Laboratorio de Cocombustión

Laboratorio en funcionamiento desde 2002, dedicado al estudio experimental de pretratamientos, combustión y cocombustión de biomasa, con el objeto último de optimizar su aprovechamiento energético.



Instalaciones

- **Combustor ciclónico** de diseño Agrest (“cámara torsional”) de 800 kWt de potencia nominal, capaz de procesar biomasa de cualquier calidad y tamaño de partícula elevado (~ 1 cm), así como otros sólidos.
- **Combustor de rotación**, orientado verticalmente hacia abajo, de diseño propio basado en la tecnología del carbón, potencia nominal de 500 kWt para carbón, biomasa o mezclas en condiciones similares a las de una central térmica (altos volátiles, ~ 100 micras de tamaño).
- **Secadero de biomasa**, de tipo rotativo (“tromel”), de capacidad en torno a unos 50 kg/h de biomasa húmeda de gran tamaño de partícula.
- **Instalación de molienda de biomasa**, dotada de molinos de

impacto y corte, clasificador por cedazos y filtros.

- **Equipamiento auxiliar** necesario para operar estos equipos, principalmente: disipador común para los combustores refrigerado por agua en circuito cerrado, carcacas y circuitos de refrigeración auxiliar, tolvas de alimentación y alimentadores volumétricos para sólidos en bruto y pulverizados, filtros de depuración de gases, equipo de seguridad antidetonante y antiincendios, almacenes de combustible cerrados.



Líneas de I+D+i y de asesoría tecnológica

- Caracterización de secado y molienda de biomasa.
- Ajuste de mezclas de combustibles y de parámetros de combustión.
- Optimización de secado/molien-da/combustión de biomasa.
- Evaluación de consumos, ensuciamientos, emisiones, problemas operativos.

Instrumentos avanzados

- **Banco de deposición de alta temperatura**, formado por un haz de tubos refrigerado por un circuito adicional de aire, e instrumentado en caudal y temperatura de gases y metal.
- **Analizador de gases en chimenea**, con extracción y tratamiento automático de la muestra, conexiones de calibración y detectores en continuo para CO, CO₂, O₂, SO₂ y NO.
- **Medida de fluctuaciones**, radiación, temperatura y velocidad en llama.
- **Células de carga** para calibración gravimétrica de alimentadores. Termometría inalámbrica para el aire del secadero. Registro de temperatura del producto en el secadero mediante sondas móviles miniatura. ■

Laboratorio de Ensayo de Protecciones

La evolución que está sufriendo el sistema eléctrico así como la búsqueda constante de la mejora de los factores de calidad del mismo provoca la necesidad de adaptaciones y mejoras en los sistemas de protección.

Los sistemas de protección del sistema eléctrico tienen por objeto la protección de las distintas partes del sistema pero, además se debe garantizar que la afección de las faltas sea mínima para garantizar la continuidad de suministro eléctrico. Para ello se deben realizar los debidos ajustes a los distintos tipos de protección que se pueden encontrar:

- Protección de distancia.
- Protección diferencial (línea, transformador o barras).
- Protección de intensidad.
- Protección de tensión.

Instalaciones

- Sistema de ensayo de protecciones Omicron CMC 256-6
- Armarios de protecciones:
 - Posición de línea de alta tensión.
 - Posición de transformador.



Líneas de I+D+i

- Desarrollo de nuevos algoritmos de protección.
- Desarrollo de localizadores de falta.
- Protocolos de comunicación y control según la norma IEC 61850.

Servicios

de asesoría tecnológica

- Ensayo de configuración y ajuste protecciones.
- Análisis de incidencias. ■



Laboratorio de Integración de Energías Renovables

Las actividades de I+D+i del laboratorio de Integración del Energías Renovables se desarrollan en el ámbito de la conexión al sistema eléctrico de los sistemas de generación renovables, así como en el desarrollo de sistemas de mejora de la calidad de red.

El laboratorio permite ensayar novedosas configuraciones de producción eléctrica mediante la asociación de distintas fuentes renovables, la conexión de fuentes renovables en redes débiles o sistemas de microgeneración de corriente continua entre otros.

Instalaciones

Cuatro bancadas compuestas, cada una, por un motor y un generador con los sistemas de control necesario para simular el comportamiento de cualquier sistema de generación renovable, y, en su conjunto, una red débil. El rango de potencias se sitúa entre los 22 kW a 90 kW.

Líneas de Investigación

- Configuraciones electrónicas de potencia:
 - Actualización tecnológica de generadores eólicos, transformando generadores de velocidad fija en velocidad variable, con capacidad para soportar huecos según P.O.12.3.
- Conexión a red y control óptimo de sistemas fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento energético.
- Sistemas de generación hidroeléctrica a velocidad variable y bombeo reversible.
- Mejora de la calidad de red y seguridad de suministro en redes débiles:

- Desarrollo de FACTS y FAP.
- Generación distribuida: gestión integrada de sistemas de generación y almacenamiento para conexión a redes débiles.
- I+D de microrredes en corriente continua.
- Transferencia energética por acoplamiento inductivo:
 - Diseño óptimo de bobinas y pantallas EMI.
 - Diseño óptimo de configuraciones resonantes.
 - Desarrollo de estrategias de control que aseguren la máxima eficiencia. ■



Laboratorio de Lechos Fluidos Circulantes

La finalidad de los estudios realizados es la caracterización fluidodinámica de reactores de lecho fluido circulante empleados en sistemas de captura de CO₂ y su integración energética en instalaciones de generación de energía eléctrica.



Instalaciones

- Reactor en metacrilato de 4 m de altura y de 170 mm de diámetro interno.
- Reactor en metacrilato de 4 m de altura y de 160 mm de diámetro interno.
- Dos ciclones que separan el material sólido del gas que sale de la parte superior de los reactores.
- Dos válvulas no mecánicas de tipo loop-seal (lechos fluidos burbujeantes) con flexibilidad para hacer dos lechos fluidos circulantes independientes, interconectados y/o con recirculación interna.
- Hasta 26 posibles medidas con conexiones de transmisores de presión diferencial.
- Tres sistemas de medida del caudal externo de sólidos mediante un sistema de válvulas de tajadera y desvío del caudal a un depósito extraíble.
- Dos sondas de hilo caliente para la medida del caudal (y temperatura) de aire a ambos reactores.
- Una resistencia para cambiar la temperatura de entrada del aire (control por PID) a uno de los reactores.

Líneas de I+D+i

- Caracterización fluidodinámica de instalaciones basadas en lechos fluidos circulantes interconectados (ciclos de captura de CO₂ mediante el ciclo carbonatación-calcinación, chemical-looping y/o gasificación). En particular, perfiles de caída de presión, circulación de sólidos y en un futuro transferencia de calor.
- Integración energética del calor residual del ciclo de captura de CO₂ (principalmente aminas y carbonatación-calcinación) en centrales térmicas. Estudios termoeconómicos comparativos de diferentes opciones/configuraciones de sistemas de captura y reducción de emisiones. ■

Laboratorio de Metrología Eléctrica

Gestionado por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza y la División Eléctrica de CIRCE. Este laboratorio cuenta con acreditación ENAC desde 1997, en calibración de tensión, corriente y resistencia.

En la actualidad, el laboratorio se ha reconvertido y ampliado; separándose en dos áreas de actividad diferenciadas:

- El área de calibración.
- El área de ensayos.

El LME cumple todas las especificaciones de la norma ISO 17025 además dispone de acreditación ENAC en diversos tipos de ensayo en el área de Aerogeneradores y Redes de Distribución. La acreditación obtenida, cuyo alcance puede ser consultado en la web de ENAC, comprende ensayos de curva de potencia de aerogenerador según las normas internacionales:

- IEC 61400-12-1:2005. Power performance measurements of electricity producing wind turbines.
- MEASNET. Power performance measurement procedure, versión 3, 2000.



Y también incluye ensayos en campo para la medida de los principales parámetros básicos de calidad de red (flicker, huecos, sobretensiones, armónicos e interarmónicos) según normativa:

- UNE-EN 50160:2001. Características de la tensión suministrada

por las redes generales de distribución.

- UNE-EN 61000-4-30:2004. Métodos de medida de la calidad de suministro siendo el primer laboratorio español en conseguir esta acreditación.

Líneas de I+D+i

- Desarrollo de un sistema de medida que permita la medida de calidad de red en varios puntos aislados del sistema eléctrico de manera sincronizada.
- Desarrollo de un sistema de medida para la verificación de la producción en sistemas solares.

Servicios de asesoría tecnológica

- Medida y ensayo:
 - Ensayo de Curva de Potencia en Aerogeneradores (IEC 61400-12-1).
 - Ensayo de Calidad de red en Aerogeneradores (IEC 61400-21).
 - Análisis de Calidad de Suministro Eléctrico.
- Toma de datos para análisis de recurso eólico de un emplazamiento.
- Cálculo del nivel garantizado de armónicos en parques eólicos y huertas solares.
- Monitorización de parámetros de líneas aéreas (MT y AT).
- Desarrollo de sistemas de medida especialmente orientados a:
 - Medida de curva de potencia.
 - Análisis de sistemas de generación mediante energías renovables.
 - Estudios de calidad de energía. ■



Laboratorio Móvil de Ensayo de Huecos de Tensión en Aerogeneradores (MEGHA)

El incremento de la potencia eólica instalada ha hecho que los operadores del sistema de los diferentes países deban replantear sus procedimientos de operación para adaptarlos a este nuevo tipo de generación, de modo que su incorporación no afecte a la seguridad y fiabilidad del sistema. Uno de los nuevos requisitos de conexión que afectan a la generación eólica es la continuidad de suministro durante huecos de tensión.

El grupo de estudios dinámicos del impacto en red de la generación eólica del área GISEP de la división eléctrica ha desarrollado este laboratorio que permite realizar distintos ensayos del comportamiento de aerogeneradores frente a huecos de tensión.

Dicho equipo se interconecta entre la línea de evacuación de energía eléctrica producida por el/los aerogeneradores de la instalación eólica y el aerogenerador objeto de ensayo.

Características del equipo de ensayo:

- Niveles de tensión de hasta 20 kV y potencias de hasta 5 MW.
- Genera huecos de tensión adecuados a la normativa internacional, pudiéndose seleccionar la duración del hueco, así como la profundidad de hasta el 100%,



con pasos de variación ajustables y a tantos niveles de profundidad como se desee, para adecuarse a cada tipo de falta susceptible de producirse en la red eléctrica.

- Es capaz de generar huecos trifásicos, bifásicos aislados o a tierra y monofásicos.
- Además es capaz de controlar la potencia de cortocircuito que observa el aerogenerador y aislar el resto de la red eléctrica de las faltas provocadas. ■

Laboratorio de Oxidación

Instalación **pionera** en España, subvencionada parcialmente a través del proyecto de investigación ENE2005-03286, es una planta experimental para el estudio de la viabilidad técnica de la tecnología de oxidación en lecho fluidizado. Es decir, de la combustión de sólidos en atmósferas de O_2/CO_2 , en ausencia de nitrógeno.

La finalidad de los estudios realizados es producir una corriente de gases de escape rica en dióxido de carbono que pueda disponerse de manera sencilla para un posterior almacenamiento geológico.

Instalaciones

- **Sistema de alimentación de combustibles y sorbente.** Tolvas de almacenamiento de combustible, sorbente e inerte, descolmatador interno, tornillos sinfin de descarga sobre tornillo mezclador de entrada al reactor.
- Sistema de alimentación de gases. Bloques de botellas de O_2 y CO_2 , sistema de mezclado y suministro regulado a presión.
- **Reactor de lecho fluido y sistema de extracción de cenizas.** Reactor de lecho fluido burbu-

jeante de 90 kWt, diseñado para un tamaño medio de partícula en torno a 800 micras, refrigerado por camisa de agua en el lecho y sin refrigeración en el free-board, placa fluidizadora y alimentación superior, sistema neumático de extracción de cenizas.

- **Sistema de limpieza de gases.** Ciclón de alta eficiencia para retención de partículas a alta temperatura y filtro de mangas antes de escape.
- **Sistema de precalentamiento.** Quemador de gas y cámara de combustión, con control de temperatura mediante adición de aire secundario.
- **Sistema de refrigeración.** Circuito de refrigeración por agua de la camisa del lecho y de la



punta del tornillo mezclador, con sistema de disipación mediante aerorefrigerador.

- **Valulería, instrumentación y equipos de trasiego.** Válvulas

de control, de seguridad y de corte, sondas de temperatura y presión de agua y gases, medidores de caudal de agua, comburente y recirculación.

- **Sistema de análisis de emisiones en continuo.** Estación de análisis en continuo, con muestreo alternado en doble punto y sistema de acondicionamiento de muestra, para medida continua de concentración de compuestos presentes en los gases de escape (O_2 , NO_x , CO_2 , CO y SO_2), con medición independiente del contenido de humedad.

Líneas de I+D+i

- Facilitar el uso de combustibles de bajo rango y diferentes tipos de biomasa, controlando adicionalmente una mínima emisión de dióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno.
- Diseño y desarrollo de experimentos de caracterización térmica, fluidodinámica y de emisiones cuando se empleen diferentes combustibles sólidos en el reactor de lecho fluidizado, bajo diferentes condiciones de granulometría del combustible, de temperatura y concentración de oxidante y de ratios de recirculación desde el escape. ■





Fundación CIRCE - Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos

Centro Politécnico Superior - Universidad de Zaragoza - Edificio Torres Quevedo - María de Luna, 3 E-50018 Zaragoza (España) Tel.: +34 976 761 863 Fax: +34 976 732 078

<http://circe.cps.unizar.es>

