

Aprovechamiento de la Energía Eólica

Reseña histórica, estado
actual y perspectivas futuras

Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires

Hernán De Battista

Noviembre de 2006

Los Pioneros ...

Charles F. Brush

(1849-1929)

- Charles Brush fue uno de los fundadores de la industria eléctrica norteamericana.
- Fundó la Brush Electric Co donde desarrolló una dinamo utilizada en la red eléctrica pública, la primera luz de arco eléctrico comercial, y un eficiente método para la fabricación de baterías.
- Su compañía fue vendida en 1889, y de la fusión posterior con la Edison Electric nació General Electric Co.

La primera turbina eólica (1888, Cleveland)

- Rotor: 17m diám (140 palas de cedro).
- Torre: 18m.
- Generador: 12kW CC.
- Carga: 400 batt. 100Ah c/u.
- Control automático.
- Duración: 20 años.

Poul La Cour (1846-1908)

- Primeros experimentos en túneles de viento.
- Turbinas de pocas palas y alta velocidad.
- Diseños 3 veces más eficientes.
- Almacenamiento de energía.
- Construyó las turbinas de Askov para producción de hidrógeno.

Poul La Cour (su legado)

- Gran promotor de la energía eólica.
- Muchos discípulos que llevaron a Dinamarca a liderar el desarrollo tecnológico.
- Fundó la “Sociedad de Electricistas Eólicos”.
- Publicó la 1ra Revista de Energía Eólica.
- 120 turbinas de 25kW generaban 3% de electricidad hacia 1918.

Las turbinas Jacobs (1920s – 1950s)

- Perfil aerodinámico.
- Turbinas de 1 – 5 kW.
- Iluminación, radio, otros.
- Instalada por cientos de miles en el oeste norteamericano.

**Las primeras turbinas
conectadas a red ...**

La turbina Balaclava

(Mar Caspio, URSS, 1931)

- Potencia: 100kW.
- Generador: Asíncrono de rotor bobinado con reóstato.
- Duración: 2 años.
- Energía producida: 200MWh.

La turbina Smith-Putnam

(Vermont, E.U.A., 1941)

- Potencia: 1,25MW.
- Rotor: 2 palas, 56m diám, 16ton.
- Control activo de orientación y del ángulo de paso.
- Generador: Sincrónico.
- Duración: 1100 horas de operación.

La turbina Gedser (Johannes Juul)

(Dinamarca, 1956)

- Potencia: 200kW.
- Generador: Asíncrono.
- Duración: 11 años.
- Rotor:
 - 3 palas, corriente arriba.
 - Ángulo de paso fijo.
 - Regulación de potencia por pérdida aerodinámica.
 - Freno centrífugo.

Las turbinas Hütter

(Alemania, 1960 - 1968)

- Rotor:
 - Palas de fibra de vidrio.
 - 2 palas, corriente abajo.
 - Ángulo de paso variable.
 - Rotor oscilante.

Los inicios de la industria eólica ...

La crisis del petróleo (1973)

- En octubre de 1973 las tropas egipcias cruzaron el canal de Suez y entraron en la península de Sinaí que había sido ocupada por Israel 6 años antes durante la guerra de los 6 días. En la nueva guerra, el petróleo fue usado como un arma. En efecto, la OPEP, dominada por los países árabes, impuso un embargo a todos aquellos países que apoyaran a Israel. Este embargo puso en evidencia la vulnerabilidad de la sociedad occidental. Así, la energía eólica volvió a estar en boca de todo el mundo como una fuente alternativa de energía. Los gobiernos europeos y el norteamericano invirtieron fuertes sumas de dinero en investigación y desarrollo para la generación eólica, dando el puntapié inicial para la creación de una nueva industria.

El modelo norteamericano

- Turbinas de gran potencia.
- Programas gubernamentales restringidos.
- Grandes avances científicos para lograr radicales innovaciones tecnológicas.
- Primeros prototipos MW a fines de los 70s.

El modelo danés

- Basado sobre la experiencia previa.
- Progresivos avances científico - tecnológicos.
- Consolidación del concepto danés.
- Turbinas simples, bajo costo, bajo mantenimiento.
- Máquinas de 55kW a fines de los 70s

Las primeras turbinas comerciales

Hacia fines de los 70s los daneses desarrollaron máquinas de 55kW que marcaron un antes y un después de la industria eólica. A partir de entonces comenzó la fabricación en serie y la industria se profesionalizó.

La ráfaga californiana (1980 – 1986)

- El primer mercado significativo que se abrió a la energía eólica fue California entre 1980-1986.
- 15000 turbinas eólicas, desde 55kW hasta 100kW en promedio, fueron instaladas en California por fabricantes norteamericanos, daneses, ingleses, alemanes y japoneses. La mitad de estas turbinas eran danesas.
- Hacia 1987, el precio del petróleo y el interés político decayeron y el mercado eólico más grande del mundo desapareció de la noche a la mañana, llevando a varias compañías a la bancarrota. Sólo algunas pudieron recuperarse gracias al mercado europeo.

Las turbinas modernas ...

Las turbinas modernas

- Incremento en potencia hasta 750kW.
- Nuevas tecnologías:
 - Nuevos generadores.
 - Electrónica de potencia.
 - Nuevos métodos de regulación de potencia.
- Máquinas comunes: 750 – 2000 kW.
- Máquinas especiales: >2MW hasta 5MW.
 - Re-equipamiento de zonas superpobladas.
 - Granjas marinas.

Las granjas marinas

Horns Rev (2002): 80 Vestas 2MW, 15-20km de costa.

Nysted (2003): 72 Siemens 2.3MW, 10km de costa.

Dinamarca: 4GW off-shore para 2030 (40% de la demanda nacional).

Otros: Holanda, R.U., Alemania, Irlanda.

R.U.: Shell construirá para 2011 1GW en el estuario del Támesis (25% de la demanda de Londres).

Las tecnologías actuales ...

Las tecnologías actuales

Las turbinas eólicas actuales se diferencian principalmente según:

- El método de limitación de potencia.
- El sistema de generación eléctrica.

Métodos de limitación de potencia

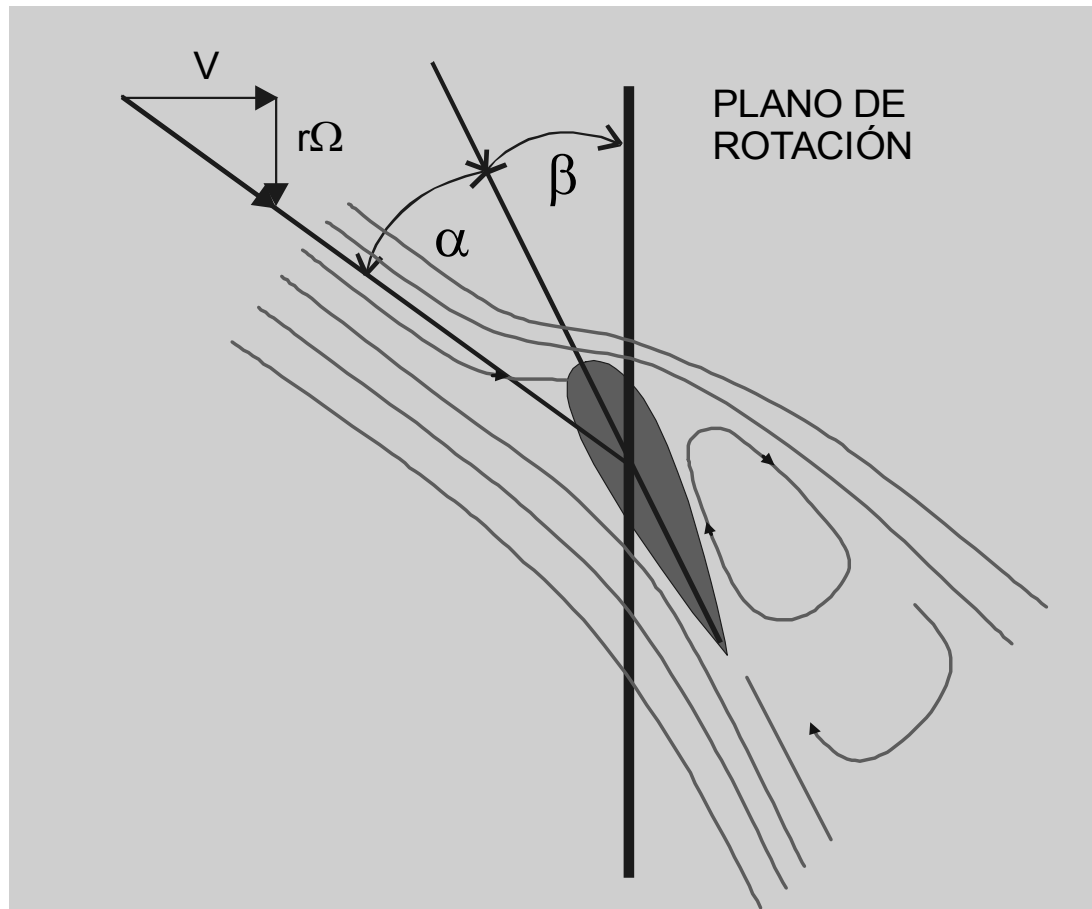
- Control pasivo por pérdida aerodinámica.
- Control activo por pérdida aerodinámica.
- Control del ángulo de paso.

Métodos de limitación de potencia

- Control pasivo por pérdida aerodinámica.
 - ✓ No requiere partes móviles, actuadores ni sistemas de control.
 - X Fuertes cargas aerodinámicas.
 - X Mala característica de regulación.
 - ✓ Gran parte de las turbinas instaladas en el mundo emplean este mecanismo de regulación.

Métodos de limitación de potencia

- Control activo por pérdida aerodinámica.

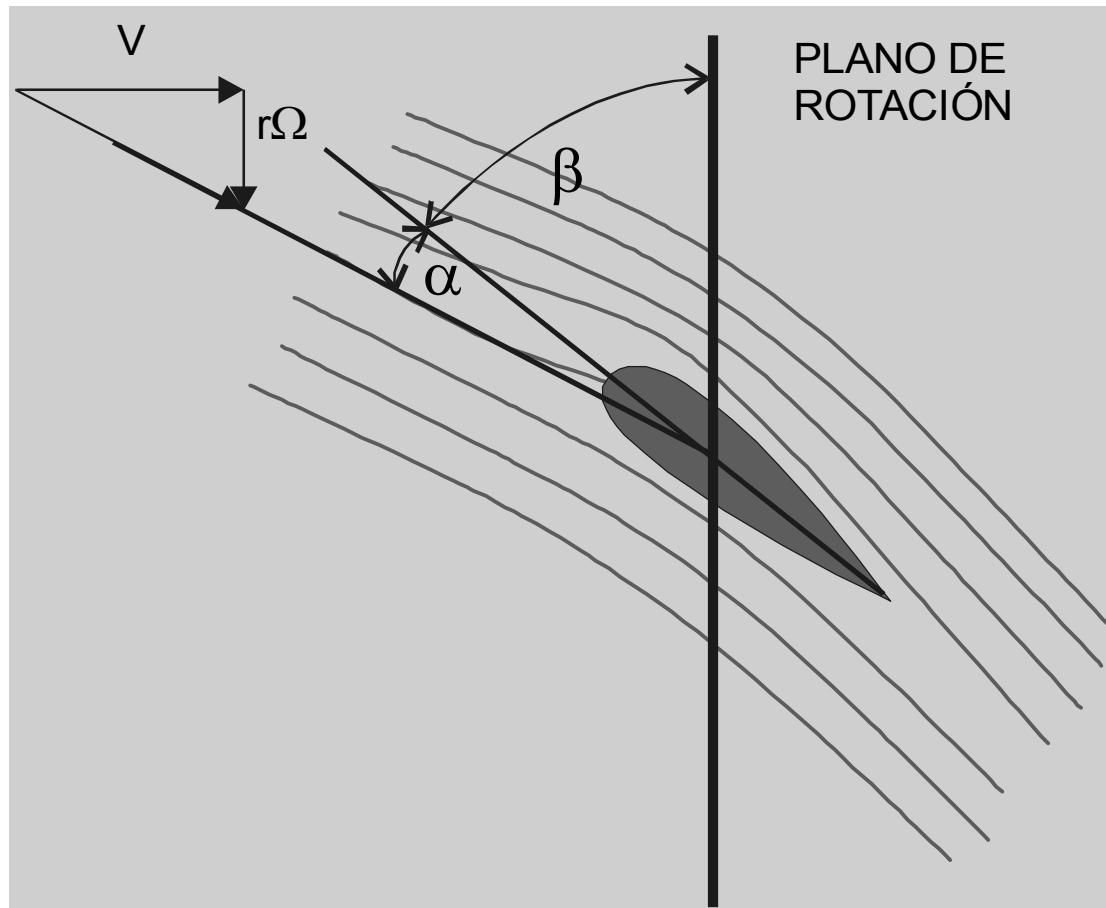


Métodos de limitación de potencia

- Control activo por pérdida aerodinámica.
- X Requiere partes móviles, actuadores y sistema de control.
- X Fuertes cargas aerodinámicas.
- ✓ Excelente característica de regulación.
- ✓ Muy empleado en turbinas de alta potencia.

Métodos de limitación de potencia

- Control del ángulo de paso.



Métodos de limitación de potencia

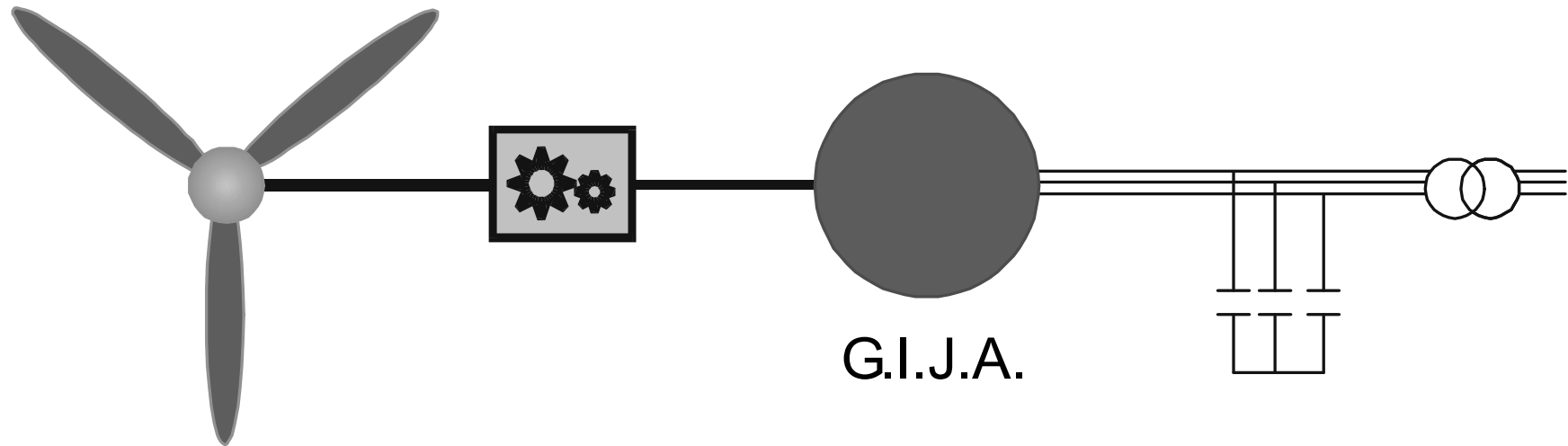
- Control del ángulo de paso.
- X Requiere partes móviles, actuadores y sistema de control.
- ✓ Leves cargas aerodinámicas.
- ✓ Excelente característica de regulación.
- X Requiere operación a velocidad variable.
- ✓ Muy empleado en turbinas de muy alta potencia.

Sistemas de generación eléctrica

- De velocidad y frecuencia fijas.
- De velocidad variable y frecuencia fija.
- De velocidad y frecuencia variables.

Sistemas de generación eléctrica

- De velocidad y frecuencia fijas.

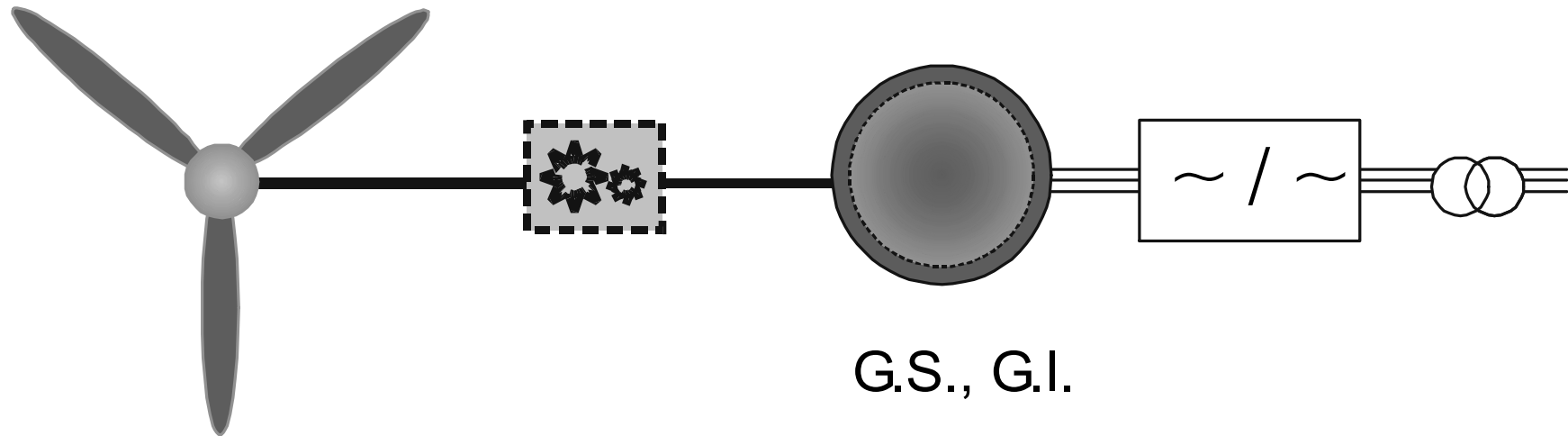


Sistemas de generación eléctrica

- De velocidad y frecuencia fijas.
 - ✓ Generador simple y robusto.
 - X Caja de engranajes compleja.
 - ✓ Sin electrónica de potencia.
 - X Limitado control de potencias activa y reactiva.
 - X Con regulación por pérdida aerodinámica.
 - Configuración dominante en los 80s.

Sistemas de generación eléctrica

- De velocidad y frecuencia variables.

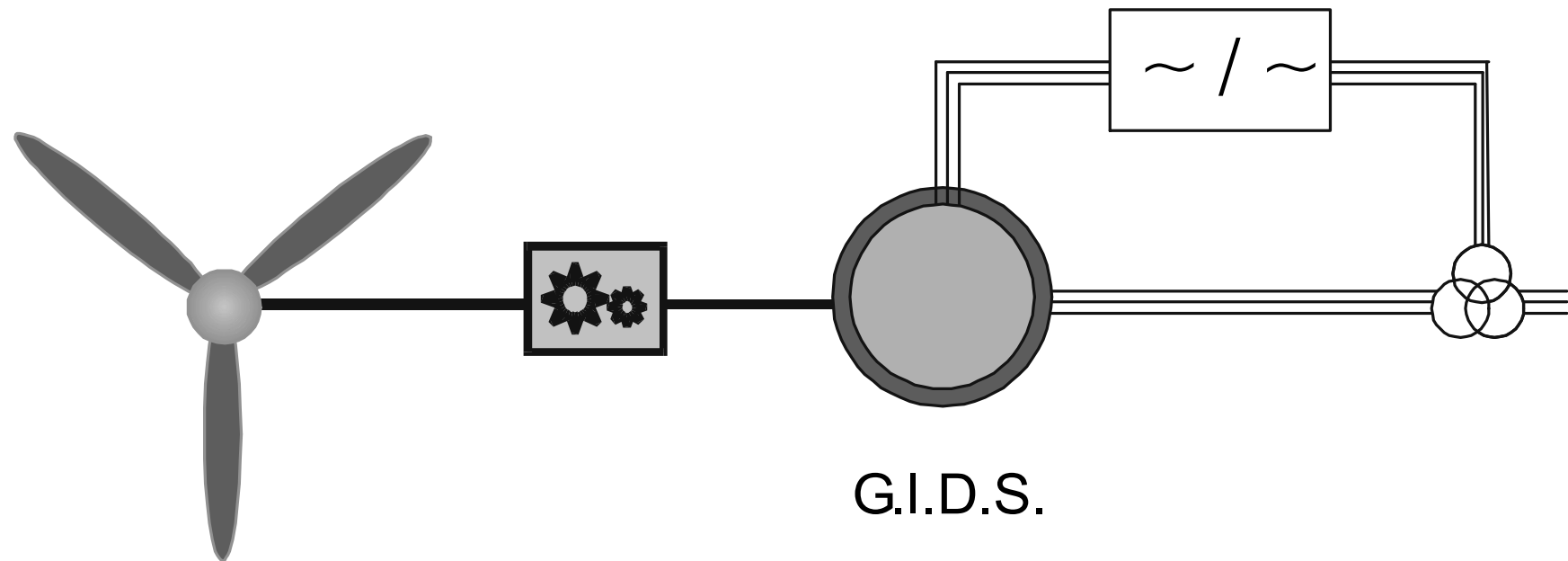


Sistemas de generación eléctrica

- De velocidad y frecuencia variables.
 - ✓ Generador simple y robusto.
 - ✓ Caja de engranajes simple o ausente.
 - X Con electrónica de potencia (100%).
 - ✓ Muy amplio control de potencias activa y reactiva.
 - ✓ Con regulación por control del ángulo de paso.
 - Configuración reciente.

Sistemas de generación eléctrica

- De velocidad variable y frecuencia fija.

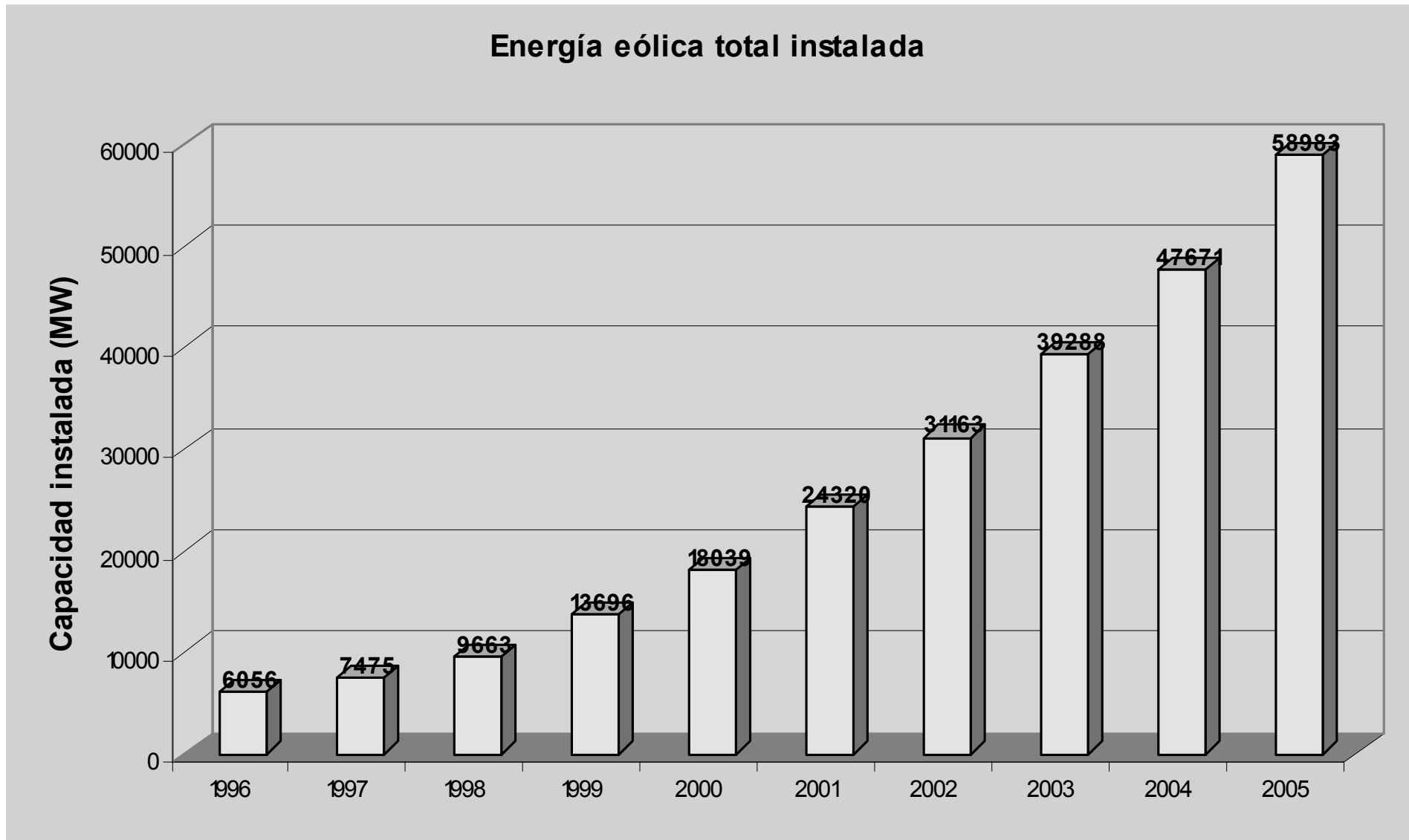


Sistemas de generación eléctrica

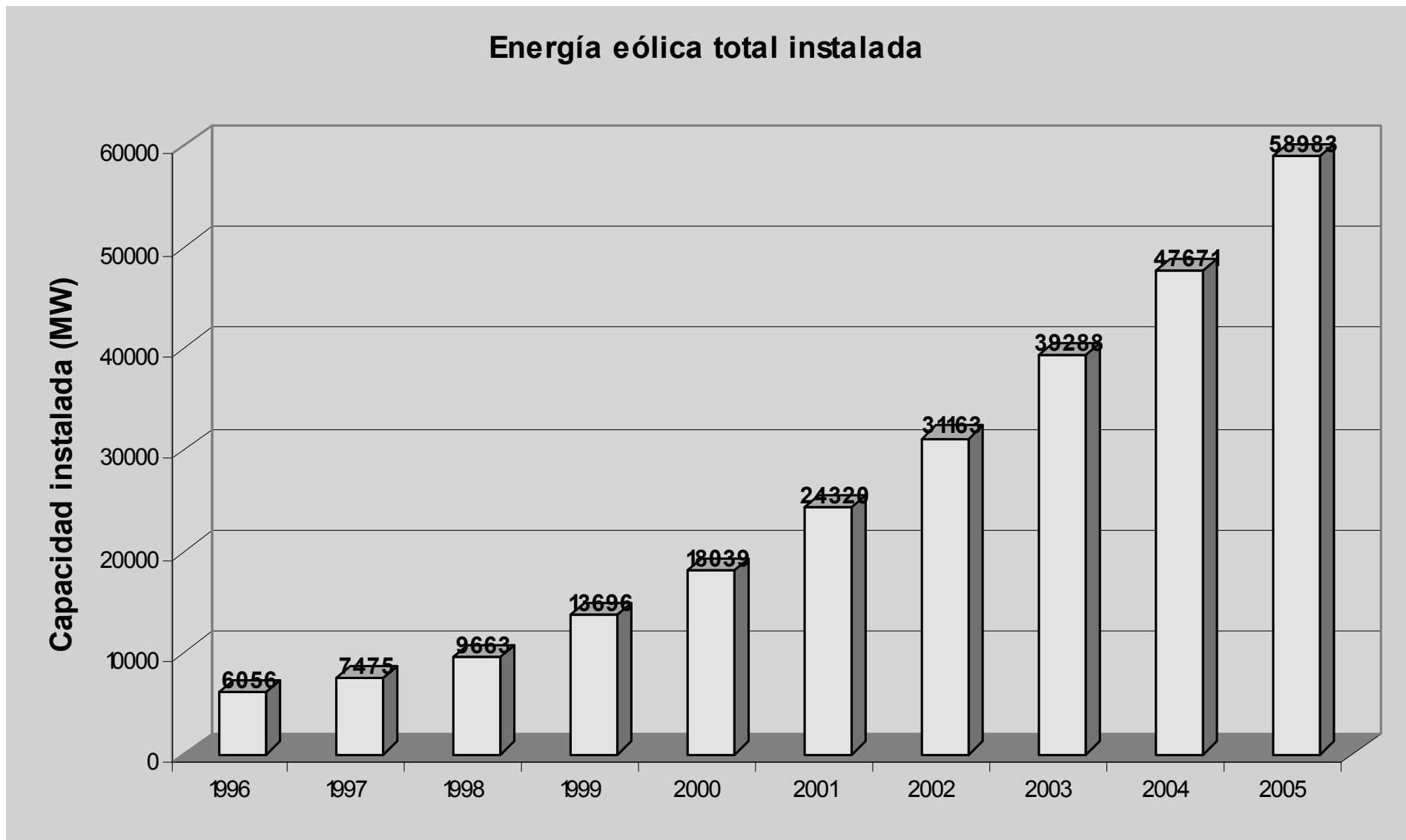
- De velocidad variable y frecuencia fija.
 - X Generador complejo.
 - X Caja de engranajes compleja
 - x Con electrónica de potencia (40%).
 - ✓ Amplio control de potencias activa y reactiva.
 - ✓ Con regulación por control del ángulo de paso.
 - Configuración dominante actual.

El mercado eólico mundial ...

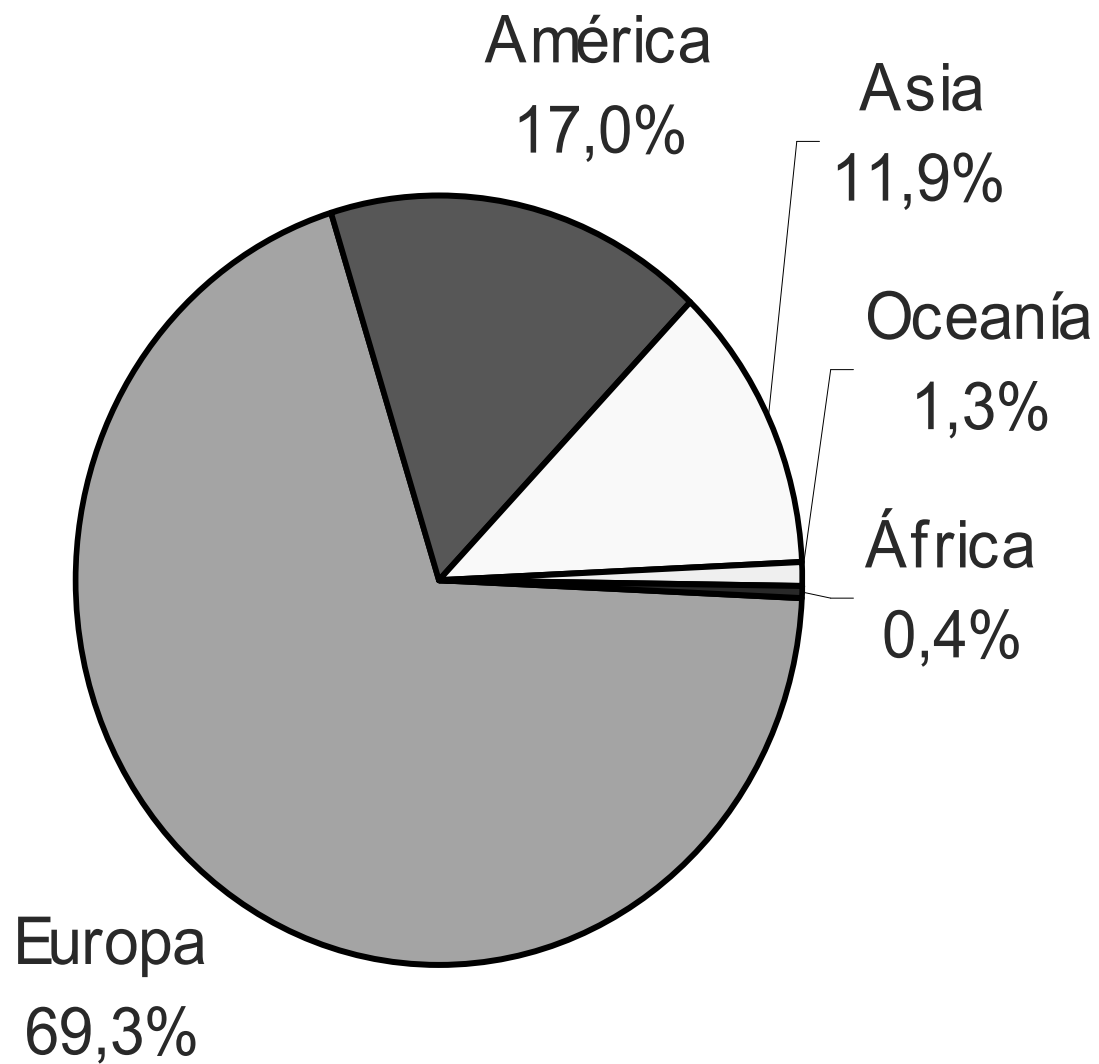
Evolución de la potencia instalada



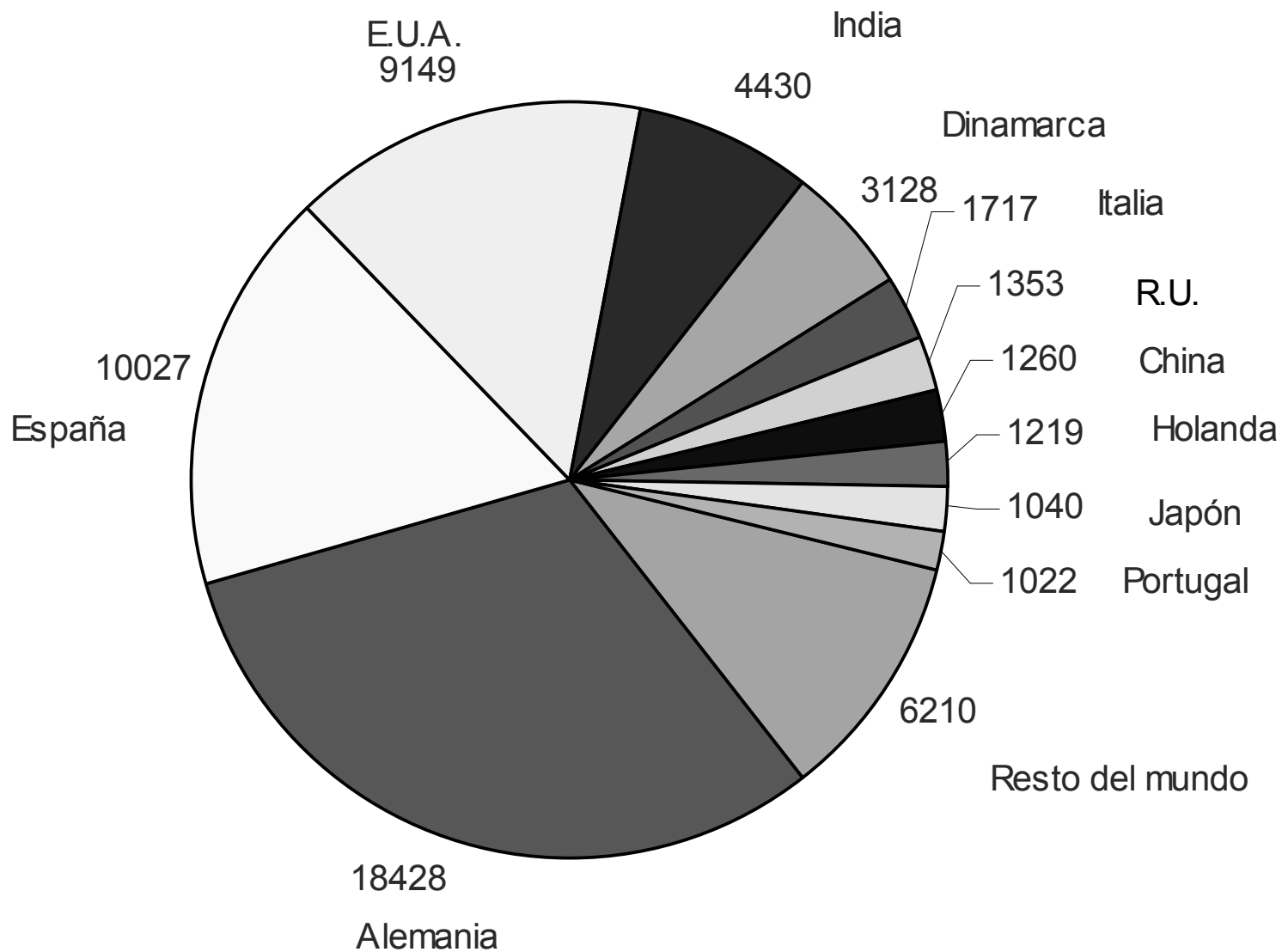
- La capacidad instalada es 6 veces superior a la de 10 años atrás (se generará 120 TWh anuales en 2010, el 1% del total mundial).



Distribución de la potencia instalada



Distribución de la potencia instalada



**Perspectivas
futuras ...**

Perspectivas futuras

- X Volatilidad del precio del petróleo y escasez de energía.
- X Deterioro del medio ambiente y cambio climático.
- ✓ El viento es una fuente de energía limpia.
- ✓ El costo de la energía es fijo durante la vida útil de la turbina.
- ✓ Decrecimiento de los costos de fabricación.

Perspectivas futuras

- La capacidad instalada será de 120GW en 2010, según WWEA.
- Algunos pronósticos indican 1TW en 2020 (10% del mercado).

Perspectivas futuras

El crecimiento seguirá motorizado por la diversidad geográfica:

- Portugal, Francia, R.U., India, China, Australia y Canadá crecieron al 50% en el último año.
- E.U.A. está creciendo al 36% con una tasa muy superior a la media.

Perspectivas futuras

Europa apuesta al desarrollo de la eólica off-shore para incrementar significativamente su capacidad.

Perspectivas futuras

Algunos países se preparan para un alto factor de penetración de la energía eólica:

- Europa podría cubrir el 12% de su electricidad para 2020, y más del 20% para el 2030.
- España piensa duplicar su generación eólica para 2012, con lo que cubriría el 15% de la demanda de electricidad.
- Dinamarca cubrirá el 50% de la demanda eléctrica con energía eólica para 2030.

Desafíos

Políticas activas:

- Destrucción de ciertos mitos.
- Apertura del mercado eléctrico.

Desafíos

Desarrollo científico tecnológico:

- Turbinas de mayor potencia.
- Nuevas tecnologías.
- Mejores métodos de predicción del recurso.
- Interacción con el sistema de potencia.
- Flexibilidad en el control de las granjas eólicas.
- Tecnologías de almacenamiento.
- Sistemas de generación autónomos para la electrificación de zonas rurales.

Muchas gracias ...