

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE TURBINAS EÓLICAS DE GRAN POTENCIA EMPLEANDO METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.

G. Berrios¹, A. Rivarola², A. P. Arena³

Grupo CLIOPE “Energía, Ambiente y Desarrollo Sustentable” Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional – Rodríguez 273 – Ciudad – Mendoza – C.P.5500
Tel. 0261-5243000 e-mail: andreari@frm.utn.edu.ar

RESUMEN: La energía eólica es evaluada positivamente, desde el punto de vista ambiental, considerando que se aprovecha un recurso renovable para producir energía eléctrica, evitando el consumo de recursos fósiles durante su funcionamiento, lo que disminuye el impacto generado sobre el medio ambiente. En la actualidad se puede hablar de equipos del tipo onshore y offshore, donde el elemento distintivo es la localización de los mismos. Sin embargo se ha observado que existen diferentes tipos de configuraciones (torres y fundaciones) empleados en la fabricación de estos equipos, lo que a veces está vinculado a la localización, a la estética, y/o las propiedades mecánicas buscadas. En este trabajo se evaluaron y compararon 5 aerogeneradores de 2,5 MW, del tipo onshore y offshore, empleando metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Los resultados indican que cuando se comparan dos equipos del tipo offshore la mayor diferencia se atribuye a tipo de torres y fundaciones empleadas, en tanto si se compara un onshore con un offshore las diferencias se acentúan especialmente en las fundaciones.

Palabras clave: ACV, aerogenerador de gran potencia, impacto ambientales

INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de energía eléctrica a nivel mundial sumada a los graves impactos que las fuentes tradicionales de generación de electricidad provocan sobre el ambiente ha impulsado en el mundo un fuerte desarrollo del uso de fuentes de energía renovables. Dentro de las posibles fuentes de energía renovable, en la actualidad la energía eólica posee la mayor proyección tanto a nivel nacional como mundial. A nivel mundial, en los últimos 5 años, su uso ha crecido en porcentajes mayores al 20% anual (Sawyer et al, 2008).

Aunque, al comparar la generación de electricidad a partir de energía eólica con la de origen fósil, se observa una disminución del impacto ambiental, existen durante el ciclo de vida del aerogenerador, impactos ambientales sobre el medio que deben ser cuantificados. En este aspecto, la metodología más adecuada para este tipo de análisis es la de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Entre los impactos asociados a un aerogenerador, se pueden mencionar los vinculados a la etapa de construcción de los equipos (Rivarola et al, 2007 a); (Rivarola et al 2007 b), así como también los vinculados a la etapa de funcionamiento como es el caso del impacto del ruido (Rivarola et al 2008 a) y (Rivarola et al 2009), el impacto sobre la avifauna y el impacto paisajístico entre otros.

En los últimos años, se ha observado un crecimiento en el desarrollo e implementación de turbinas de gran potencia (MW), tanto del tipo onshore como offshore. Al analizar estos equipos se observa que los mismos han ido aumentando tanto en potencia nominal como en tamaño. Así, al comparar aerogeneradores de igual potencia nominal del tipo onshore y offshore, se observó que se emplean diferentes tipos de torres y fundaciones, lo que se vincula con distintos materiales y pesos. Así, por ejemplo para la construcción de las fundaciones la cantidad y tipo de materiales dependerán de las características del suelo o de la profundidad en el agua de acuerdo al lugar donde se monten los equipos (Chataignere et al 2005). En el caso de las torres, las consideraciones para elegir las estará dado por factores como son: el costo, las características mecánicas de los materiales, la percepción estética y la forma de transporte (Brughuis et al 2006). Sin embargo, no es frecuente encontrar el empleo de un factor ambiental como herramienta de decisión, junto a las arriba mencionadas, a la hora de elegir un tipo de material.

Objetivo e Hipótesis de trabajo

En este trabajo se analizan y se comparan los impactos ambientales generados por cinco aerogeneradores de 2,5 MW de potencia nominal, actualmente en funcionamiento, empleando metodología de ACV. Se parte de la siguiente hipótesis: aunque los cinco equipos presentan potencias nominales, pesos parciales, materiales de góndolas y palas similares, la diferencia en el lugar de emplazamiento, junto a la de los materiales de construcción elegidos para las fundaciones y torres son variables de gran influencia en la magnitud de los impactos generados por los equipos.

METODOLOGIA

Métodos e instrumentos empleados

El ACV permite describir y evaluar los impactos ambientales totales de un aerogenerador, analizando todas las etapas del proceso completo desde la provisión de materia prima, producción, transporte y generación de energía, hasta el reciclado y las etapas de eliminación de desechos. El ciclo de vida de un aerogenerador comienza con la extracción de la materia prima

- 1 Becario alumno de Investigación
- 2 Becaria de Doctorado
- 3 Director del Grupo de Investigación

de la tierra para su fabricación y finaliza en el punto en que todos los materiales vuelven a la tierra. El ACV hace posible calcular los impactos ambientales acumulativos resultantes de todas las etapas en el ciclo de vida, a menudo incluyendo impactos no considerados en análisis más tradicionales (por ejemplo, extracción de materia prima, transporte del material, eliminación definitiva del equipo, etc.). Por lo tanto, la (el) ACV provee un análisis exhaustivo de los aspectos ambientales del aerogenerador y un panorama más exacto de las compensaciones ambientales verdaderas en la selección del mismo. Esta metodología permite no sólo cuantificar dichas cantidades, sino también construir un perfil ambiental del producto analizado, consistente en una cuantificación del impacto producido en distintas categorías ambientales, tales como el calentamiento global, la eutrofización de las aguas y el adelgazamiento de la capa de ozono. En este trabajo se realizó el ACV sobre 5 equipos, los cuales se presentan como escenarios de análisis, permitiendo establecer comparaciones entre los mismos.

Unidad Funcional

Como unidad funcional del sistema se seleccionó 1 kWh de electricidad producido por las turbinas eólicas con el fin de poder relacionar los impactos ambientales con la electricidad generada.

Recopilación del inventario

La figura 1 muestra una representación del modelo usado para analizar el impacto ambiental de cada aerogenerador durante su ciclo de vida completo.

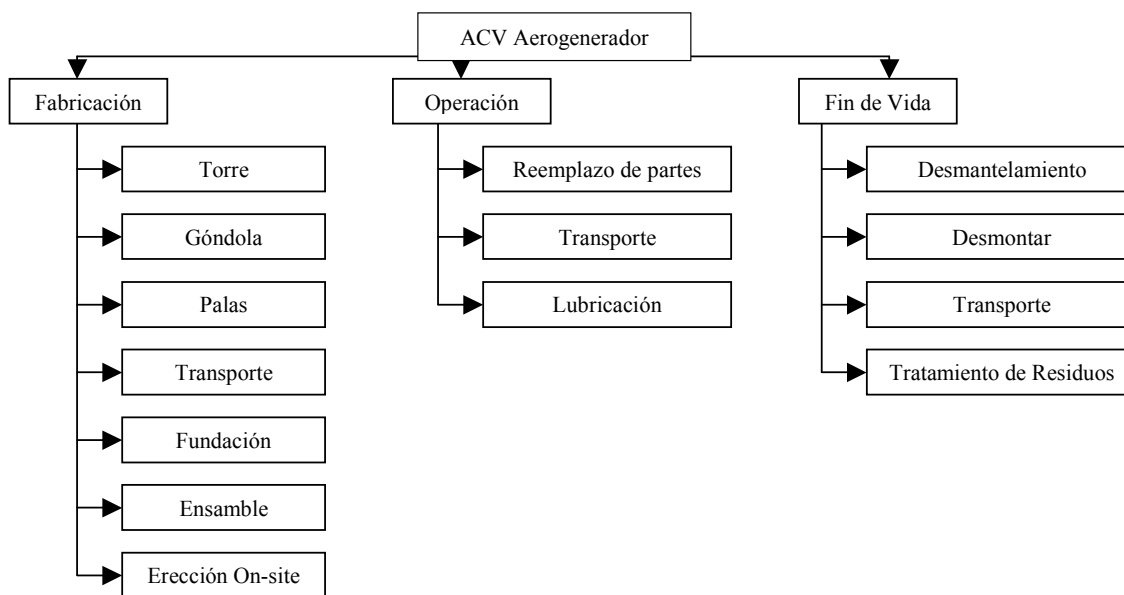


Figura 1: Esquema representativo del ciclo de vida de un Aerogenerador

El objetivo en la recopilación de datos en la etapa de inventario se focalizó sobre los componentes más importantes: torre, góndola, palas y fundaciones, los cuales son clasificados en la tabla 1, para turbinas del tipo offshore y onshore.

Componente	Lugar y Tipo	Peso total (Toneladas)	Materiales
Fundación	Onshore Profunda	1025	Concreto
			Acero
	Offshore Trípole	130	Acero
			Concreto
	Offshore Monopilote	415	Acero
			Concreto
Offshore Cámaras a succión	4175	Acero	
		Grava	
		Acero	
Torre	Onshore Tubular	132	Acero
			Pintura
	Offshore Celosía	288	Acero
			Pintura

Góndola	Onshore y Offshore	124	Fibra de vidrio reforzada
			Acero
			Cobre
			Aluminio
			Hierro
Palas	Onshore y Offshore	9,2	Fibra de Vidrio reforzada

Tabla 1: División de partes y materiales de un aerogenerador de 2,5 MW

Fundaciones

Las fundaciones para equipos onshore se escogieron según el tipo de terreno y las dimensiones del aerogenerador, diferenciándose principalmente en la cantidad de concreto y acero utilizado. Para equipos offshore, con profundidades inferiores a 20 metros se emplearon dos tipos de cimentaciones representativas: fundación por base de gravedad con cámaras a succión y fundación por monopilote enclavado. Las elecciones hechas, en todos los casos se fundamentan en la bibliografía consultada (Castejón de Castro, 2008)

Cuando la profundidad se encuentra comprendida entre los 20 y los 50 metros, se emplean las cimentaciones tipo trípode y trípode alternativo. Estas cimentaciones tienen sus orígenes en las instalaciones petrolíferas. Presentan al igual que las monopilote, inconvenientes en lo relativo a terrenos con presencia de rocas, siendo igualmente resistentes a la corrosión. Se desaconsejan para profundidades menores a 6 ó 7 metros dado el riesgo de colisión de las embarcaciones de servicio que se aproximasen a la torre. (Castejón de Castro, 2008)

Torres

Las hay de dos tipos principalmente, tubulares o de celosía. Las torres tubulares cuenta con las ventajas de que proporcionan el medio de protección e instalación para equipos de control y sistemas eléctricos en piso, se pueden integrar medios muy seguros para que el personal de mantenimiento suba al chasis, su aspecto estético es agradable y moderno, requieren poco mantenimiento y su base ocupa poco espacio. Aunque presentan como desventajas: un costo relativamente alto, su fabricación requiere maquinaria especializada, su transportación es más difícil y costosa. Por su volumen, el transporte terrestre de torres tubulares para aerogeneradores grandes (del orden de MW) tiene limitaciones importantes.

Las torres de celosía tienen un costo relativamente bajo. Son fáciles de construir ya que típicamente están formadas por perfiles angulares de acero. Son fáciles de transportar, prácticamente en cualquier tamaño; pero es necesario verificar periódicamente que en las uniones de todos los perfiles angulares los tornillos se mantengan apretados adecuadamente, Esto es necesario para que se conserve la frecuencia natural de diseño y se eviten problemas de resonancia. Además, su rigidez limita su capacidad para absorber fluctuaciones de carga. En estas torres, el acceso al chasis se realiza por medio de escaleras tipo marino, montadas sobre un costado. A pesar de que cuentan con protecciones, subir a ellas en condiciones de baja temperatura y vientos intensos tiene un grado de dificultad importante.

Rotor y palas

El rotor es el componente que ayuda a las palas del rotor a convertir la energía del viento en movimiento mecánico rotacional. El rotor está compuesto por las palas y el buje. El buje es el centro del rotor y se fabrica de hierro o acero fundido. La experiencia ha demostrado que el rotor de tres palas es más eficiente para la generación de energía en las grandes turbinas, debido a una mejor distribución de masa, lo que permite una rotación más estable. Las palas del rotor son fabricados fundamentalmente de fibra de vidrio reforzado con plástico.

Góndola

La góndola soporta toda la maquinaria de la turbina y debe ser capaz de rotar para seguir la dirección del viento, por lo que se une a la torre mediante rodamientos. En la góndola se encuentra la caja multiplicadora compuesta por acero y hierro; el generador formado por cobre, acero al silicio y aluminio.

Limitaciones

Se han incluido todas las fases del ciclo de vida de los aerogeneradores, desde la extracción de la materia prima, fabricación, operación, mantenimiento y el fin de la vida de los mismos.

- Para todas estas fases los datos han sido tomados de la literatura, de expertos en el área y de la base de Datos de SimaPro 7.1.
- Como criterio de corte para la elección de materias prima se tuvo en cuenta aquellos materiales que formen mas del 5% de las partes con las que esta compuesta la turbina.
- No se considero en ningún caso la conexión a la red eléctrica.
- Cuando se considere mantenimiento máximo, se incluye 1 pala de reposición durante el ciclo de vida completo y 15% de partes de la góndola, reemplazo de la caja multiplicadora en tanto para mantenimiento mínimo, no se considera reposición de pala, pero si reemplazo de la caja multiplicadora.
- No se tuvieron en cuenta las emisiones provenientes de excavaciones para las fundaciones.
- Para la lubricación de las partes se uso aceite pesado y se consideró un cambio total cada 8 años.
- Para equipos onshore se consideraron 3000 horas al año de trabajo a carga completa y en los offshore 4000 horas al año.
- Se consideró una vida útil de 20 años para todos los aerogeneradores.

- Se consideró que todos los equipos se ubican a 60 km, desde donde se elabora el concreto y todas a una distancia de 600 km. desde donde fueron construidas sus partes.
 - A las turbinas eólicas offshore se las considero a 25 kilómetros de la costa, con una profundidad de 30 metros.
- Todas las turbinas van a contar con la misma disposición final, como se detalla en la tabla 2.

Material	Método de disposición final
Acero y hierro	90 % se Recicla (10 % Relleno)
Cobre	95 % se Recicla (5 % Relleno)
Aluminio	90 % se Recicla (10 % Relleno)
Fibra de vidrio	100% Relleno
Concreto	100 % Relleno
Plásticos	100 % Incinerados

Tabla 2: Disposición final de materiales

Evaluación del impacto

La fase de evaluación de impacto en un ciclo de vida (EICV) tiene por finalidad examinar el sistema producto desde una perspectiva ambiental mediante el uso de categorías de impacto e indicadores de categoría relacionados con los resultados de la etapa de inventario. La fase EICV también provee información para la fase de interpretación del ciclo de vida.

El método escogido para analizar los impactos es el Eco-indicador99. Este método expresa la carga medioambiental total (impacto ambiental) de un producto mediante una puntuación única (número). Donde a mayor número mayor impacto.

La función de daño ponderada y con una puntuación única representa la relación entre el impacto y el daño a la salud humana o al ecosistema como una evaluación de impactos finales. En este trabajo se evaluaron los solo impactos intermedios.

Escenarios analizados

Se estudiaron 5 escenarios comunes que se resumen en la siguiente tabla.

Escenario	Tipo	Fundación	Torre	Mantenimiento	Horas de carga completa por año
1	Onshore	Profunda	Tubular	máximo	3000
2	Offshore	Trípode	Celosía	máximo	4000
3	Offshore	Monopilote	Tubular	máximo	4000
4	Offshore	Cámaras a succión	Tubular	mínimo	4000
5	Offshore	Cámaras a succión	Tubular	máximo	4000

Tabla 3: Características de los escenarios analizados

RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS ANALIZADOS

El escenario 1 representa un aerogenerador onshore con una fundación del tipo profundo con una torre tubular y un mantenimiento máximo, se considera que estará trabajando a carga completa 3000 horas al año. De los resultados obtenidos se observó que la mayor contribución al impacto total es el producido por la fabricación y mantenimiento de la góndola (48% del total), el cual esta principalmente influenciado por la producción de cobre (73%) necesario para el generador. En el caso de la fundación, la misma impacta en un 22% en el total, esto se debe principalmente a la cantidad de concreto utilizado (82% del concreto total que se emplea en todo el ciclo de vida) Esto último queda reflejado parcialmente en las categorías de respirables inorgánicos y combustibles fósiles. La torre, debido al acero, contribuye con un 12 % del impacto total. Las 4 palas (3 palas + 1 pala adicional por mantenimiento máximo) utilizadas durante todo el ciclo de vida contribuyen en casi un 8%. El 10% restante se atribuye al transporte y lubricantes durante la etapa de mantenimiento.

Al analizar las categorías de impacto seleccionadas, se observó que la mayor contribución al impacto total lo generan las categorías correspondientes a respirables inorgánicos y combustibles fósiles. La disposición final de los elementos que componen la turbina, lo que incluye el reciclado, disminuye en un 30% los impactos generados por la construcción, mantenimiento y desmantelamiento. Así para una turbina de 2,5 MW, con una vida útil de 20 años, suponiendo 3000 horas de trabajo de carga completa por año, y con una pérdida de energía del 1%, característica para turbinas onshore, la generación de energía eléctrica sería de $1,49 \cdot 10^8$ kWh. Esta salida de energía eléctrica, permitiría reducir los niveles de impacto ambiental, al reducir la necesidad de generar electricidad a partir de fuentes convencionales.

El escenario 2 se presenta un aerogenerador del tipo offshore que tiene una fundación de tipo trípode con una torre de celosía y mantenimiento máximo. La torre de celosía aporta un 20% del impacto total, la fundación un 8% y la góndola un 44%. La disposición final reduce el impacto total en un 20%. Si se compara este porcentaje con la disminución del impacto producido en el caso de disposición final para un equipo onshore (30%), la disminución del impacto total será menor, debido al gasto de energía para el transporte acuático y desmantelamiento. Si se analiza la etapa de fabricación, 3 de las 11 categorías seleccionadas suman el 75% del impacto total, estas son combustibles fósiles, ecotoxicidad (emisiones al aire, agua y suelo) y los respirables inorgánicos (emisiones de SO_2 , NO_x). Las categorías relacionadas a la reducción de la capa de ozono y a la radiación prácticamente no contribuyen al daño ambiental. Para una turbina de 2,5 MW, con una vida útil de 20 años, suponiendo 4000 horas de trabajo de carga completa por año, y con una pérdida de energía del 3%, característica para turbinas offshore, la generación de energía eléctrica sería de $1,94 \cdot 10^8$ kWh.

El escenario 3 lo compone un aerogenerador offshore con una fundación monopilote con torre tubular y mantenimiento máximo trabajando a carga completa 4000 horas al año. En este caso la fundación y el transporte asociado a su construcción

representan el mayor aporte dentro del impacto total, esto queda claro si compara con el escenario 2, donde la fundación es prácticamente 3 veces más liviana que en este escenario. En tanto, la góndola representa el 30% del impacto total y la torre tubular contribuye con un 7%. Una disposición final implicaría un 17% de reducción del impacto total generado por esta turbina. Por otro lado, la generación de electricidad sería también de $1,94.10^8$ kWh.

El escenario 4 lo compone un aerogenerador offshore con una fundación gravitacional de cámaras a succión con una torre tubular con mantenimiento mínimo trabajando a carga completa 4000 horas al año. Si se compara este escenario con el 3, se observa claramente el aumento de peso de la fundación, la cual es aproximadamente 10 veces mayor. Así al analizar los resultados se observó que la mayor contribución al impacto total estará asociada a las categorías de impacto combustibles fósiles y los respirables inorgánicos. Donde para combustibles fósiles el mayor aporte sobre esta categoría estará dado por: la fundación, la góndola y la torre, en tanto para los respirables inorgánicos la mayor contribución estará dada por: la góndola, la fundación y la torre. Si se asocia el transporte a las partes mencionadas, teniendo presente que el cambio fundamental en este escenario fue el tipo de fundación y por ende la cantidad de material involucrado, se asume que la mayor contribución tanto en las categorías combustibles fósiles, como en los respirables inorgánicos de deberá al tipo de fundación y transporte asociado.

Por otro lado, al incorporar la etapa de disposición final solo se disminuiría en un 8% los impactos provocados durante la construcción, mantenimiento y traslado. Para esta turbina la generación de electricidad sería similar a los casos 2 y 3.

El escenario 5 lo compone un aerogenerador offshore con una fundación gravitacional de cámaras a succión asociada con una torre tubular, similar al escenario 4, pero con mantenimiento máximo trabajando a carga completa 4000 horas al año.

Un mantenimiento máximo implica en promedio el cambio de una de las palas del aerogenerador y un recambio del 15% de la góndola durante su vida útil. Si se lo analiza desde el punto de vista ambiental, el mayor consumo de materiales y recursos asociado a un mantenimiento máximo no representa un gran cambio respecto a un mantenimiento mínimo, debido a que la mayoría de estos materiales se recicla o se utiliza para relleno.

Comparación entre escenarios

La tabla 4 muestra un cuadro comparativo de los 5 escenarios analizados, donde se puede observar la contribución parcial de cada parte principal de los equipos estudiados con respecto al impacto total determinado durante su ACV y la influencia al incluir la etapa de disposición final.

Escenario	Fundación	Torre	Góndola	Palas	Transporte Total	Mantenimiento	Disposición final
1	22	12	48	8	1	9	-30
2	8	21	44	8	11	8	-20
3	16	7	30	5	37	5	-17
4	9	6	17	2	65	1	-8
5	9	4	17	4	65	5	-8

Tabla 4: Contribución (en porcentaje) por escenario al impacto total.

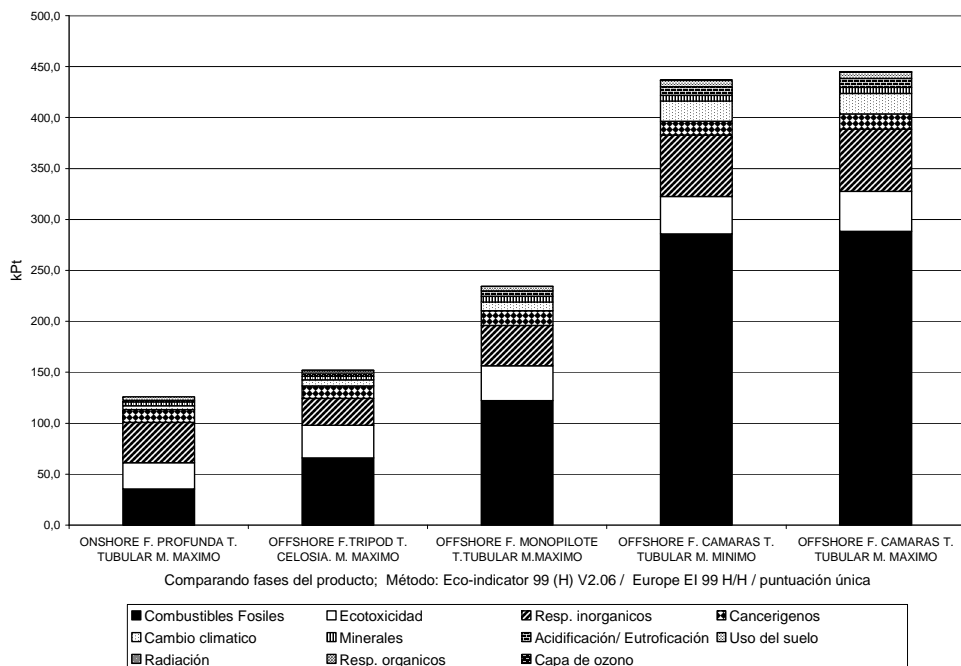


Figura 2: Comparación de los resultados del ACV para los 5 escenarios analizados

La figura 2 muestra para los 5 escenarios antes mencionados, el aporte en relación a las diferentes categorías de impacto analizadas. En tanto en la figura 3, se muestran los resultados obtenidos al analizar torres y fundaciones, donde no se considera el transporte asociado a estas, ni el mantenimiento, por lo que el escenario 5 no estará incluido.

En general, si se compara una turbina onshore con un offshore la mayor diferencia se pone de manifiesto en la mayor cantidad de acero utilizado debido principalmente a las fundaciones y en menor medida a las torres, además del mayor consumo de combustibles fósiles durante el transporte y mantenimiento de los aerogeneradores offshore. Al comparar el escenario 1 y 2, no se observa una gran diferencia en el impacto total, aunque si en el aporte de las siguientes categorías al impacto total. En el escenario 1 se debe mayoritariamente a la contribución de los respirables inorgánicos (debido al concreto para la fundación profunda) y en el escenario 2 a los combustibles fósiles (debido al acero para la torre tipo celosía).

Si se compara el escenario 2 y 3, ambos del tipo offshore, se ve que una torre tubular presenta un menor impacto que una de celosía, debido al empleo de menos acero. Sin embargo la fundación monopilote, correspondiente al escenario 3, afecta casi el triple que la fundación tipo trípode, lo que se relaciona con un mayor peso (3 veces mayor que la trípode) y con el tipo de materiales empleados: acero y concreto.

En el escenario 4 y 5 la cantidad de concreto vinculada a las fundaciones marca la mayor diferencia a la hora de compararlo con las configuraciones anteriores. Así, el porcentaje de la categoría relacionada con el uso del suelo es apreciablemente mayor que en los casos anteriores. Por otro lado, al comparar un mantenimiento mínimo con uno máximo no hay grandes diferencias, por lo cual desde el punto de vista ambiental la elección de un tipo de mantenimiento no es un factor influyente en el resultado final.

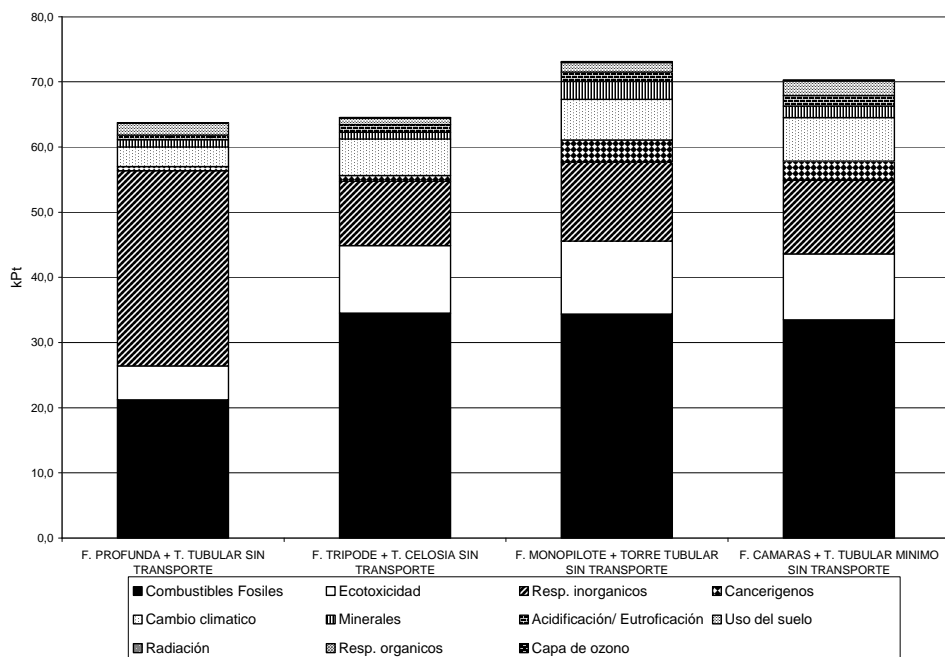


Figura 3: Comparación de las 4 combinaciones de fundaciones y torres.

CONCLUSIONES

El estudio permitió ver que al comparar cualquiera de las turbinas offshore (escenarios 2-4) con la turbina onshore (escenarios 1), el impacto total de esta última es mucho menor. Donde se observa un rango de variación amplio de acuerdo a la turbina offshore seleccionada para la comparación. Esto se debe básicamente a las diferencias en los diseños o tipos de torres que presentan estos equipos y que están relacionados con diferentes materiales y pesos. Si bien existen variados criterios para la selección del tipo de fundación y torre para aerogeneradores offshore y para la selección de fundaciones de aerogeneradores onshore entre los cuales podemos mencionar: costos; resistencia mecánica de los materiales, lugar de emplazamiento, estética, normalmente no se tiene en cuenta como criterio de selección el impacto ambiental causado durante el ciclo de vida de un equipos. Así, por ejemplo al analizar la turbina onshore (escenario 1), donde la fundación debido al cemento, como ya se mencionó, es la principal causa del impacto dentro de la categoría de inorgánicos respirables. Este hecho apuntaría a la necesidad de continuar la investigación dentro de los procesos de fabricación involucrados en la preparación de cemento (Josa et al, 2007; Cheung et al, 2007), con el objeto de reducir el impacto ambiental. Además si se consideran los efectos de los respirables inorgánicos como uno de los principales problemas, será necesario encontrar un camino para reducir las emisiones al aire, especialmente de material particulado, SO₂ and NO_x. En el caso del reciclado, en este trabajo se presentó la misma situación de reciclado para los cinco escenarios, aunque la contribución de incluir la etapa de reciclado sobre la disminución del impacto total, dependerá de cada caso analizado, se ve claramente la necesidad de analizar las diferentes vías de reciclado y reuso de los materias involucrados en particular (Wang et al, 2005)

para obtener resultados realistas de cada situación. En el caso que las torres sean de acero, este se presenta muchas veces como el material ideal y difícil de ser reemplazado, sin embargo siempre es posible analizar las posibilidades de mejoras en los procesos de manufactura de estos materiales (Norgate et al. 2004), tratando de implementar un ahorro de la energía empleada en el proceso y una reducción de la cantidad de material desechado.

Una alternativa a considerar sería la de tratar de reducir la cantidad de material usada o evaluar la posibilidad de reemplazar por otros materiales con similares características tal que no se afecte la eficiencia de las partes y se mejore el impacto ambiental. Como conclusión final se puede decir que aunque no hay duda de los beneficios ambientales que la generación de electricidad a través de esta fuente produce, esto no significa que no se deba investigar y aumentar el conocimiento sobre no sólo los impactos ambientales asociados a la fabricación e instalación de aerogeneradores sino también en relación a las posibilidades de reducción y minimización de los mismos sobre todo si se considera el crecimiento que han tenido las instalaciones eólica en los últimos años y las perspectivas de crecimiento futuro.

REFERENCIAS

- IRAM-ISO 14040 (1998) Gestión ambiental -Análisis del ciclo de vida- Principios y marco. IRAM-ISO.
- IRAM-ISO 14041(1999) Gestión ambiental -Análisis del ciclo de vida- Definición de la meta y el alcance y análisis del inventario. IRAM-ISO.
- IRAM-ISO 14042(2000) Gestión ambiental -Análisis del ciclo de vida- Evaluación del impacto del ciclo de vida. IRAM-ISO.
- P. Kleine y Möllhoff (2003), Reutlingen Sustainable technologies, Renewables: Wind Power generation, University,
- Brughuis F.J (2004) Advanced tower solutions for large wind turbines and extreme tower heights, Mecal Applied Mechanics.
- C. Castejón de Castro (2008). Los Parques Eólicos Marinos. Anales de mecánica y electricidad.
- Josa A, Aguado A, Cardim A, Byars E. Comparative analysis of the life cycle impact assessment of available cement inventories in the EU. Cement and Concrete Research 2007;37(5):781–8.
- Cheung WH, Lee VKC, McKay G. Minimizing dioxin emissions from integrated MSW thermal treatment. Environmental Science and Technology 2007;41(6): 201–7.
- Wang ZM, Huang XZ, Pei XD. Study on ways of completely recycling and reusing concrete. Jianzhu Cailiao Xuebao. [Journal of Building Materials] 2006; 9(2):205–10.
- Norgate TE, Jahanshahi S. Routes to stainless steel with improved energy efficiencies. Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series 2004;2:97–103.
- A. Rivarola - P. A. Arena Grupo CLIOPE, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza. H. Mattio CREE Centro Regional de Energía Eólica - Provincia de Chubut. Análisis de ciclo de vida de la turbina G47-660 kW. Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería 2007. EnIDI 2007, 16, 17 y 18 de octubre de 2007, Mendoza, Argentina.
- A. Rivarola - P. A. Arena Grupo CLIOPE, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza. H. Mattio CREE Centro Regional de Energía Eólica - Provincia de Chubut. Evaluación de los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de un aerogenerador. VI Conferencia y Exhibición Mundial de Energía Eólica, del 2 al 4 de octubre de 2007, Mar del Plata, Argentina.
- A. Rivarola, A.P.Arena Grupo CLIOPE “Energía, ambiente y desarrollo sustentable” Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Evaluación del daño a la salud humana causado por el ruido proveniente de aerogeneradores. Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería 2008 EnIDI 2008, Mendoza, Argentina.
- A. Rivarola, A.P.Arena Grupo CLIOPE “Energía, ambiente y desarrollo sustentable” Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Héctor Fernando Mattio - CREE Centro Regional de Energía Eólica. Application of a Methodological Proposal to study the Impact that Wind Turbine Noise has on human health. Case: Antonio Moran Wind Farm, Argentina. CILCA 2009. III International Conference on Life Cycle Assessment. 27-29 de abril de 2009, Chile.

ABSTRACT

The wind power is evaluated positively, from the environmental viewpoint, considering that advantage of a renewable resource to produce electric power, avoiding the consumption of fossil resources during its operation phase, which decreases the impact generated on the environment. At present it is possible to talk about onshore and offshore equipments, where the distinctive element is the location of the same ones. However it has been observed that there are different types of configurations (towers and foundations) which are employed in the manufacture phase of these equipments and they are sometimes linked to the location, to the aesthetics, and/or to the mechanical properties. This work present the evaluation and comparison of 5 wind turbines of 2,5 MW, of the type onshore and offshore, using methodology of Life Cycle Assessment (LCA). The results indicate that when two offshore turbines are compared, the major difference are related to the kind of towers and foundations, while if the comparison is between an onshore turbine and an offshore turbine, the major differences are connected to the foundations.

Keywords: LCA, environmental impact, Mega wind turbine

AGRADECIMIENTO

El proyecto de investigación que sustenta el presente trabajo es desarrollado con el aporte de una beca doctoral otorgada por la Fundación YPF.