

## COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO VISUAL APLICADOS A PARQUES EÓLICOS.

**A. Rivarola<sup>1</sup>, P. Arena<sup>2</sup>, G. Berríos<sup>3</sup>.**

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:** El impacto visual de la energía eólica es uno de los principales factores que influye en la aceptación pública de los parques eólicos. Los métodos actuales de evaluación del paisaje carecen de indicadores que contemplen las variables relevantes y que permitan cuantificar objetivamente el problema. El objetivo del trabajo ha sido evaluar los principales Métodos de Impacto Visual aplicados a parques eólicos a través del análisis de un caso de estudio. Se aplicaron tres métodos: el ZVI, el Español y el OIA<sub>WF</sub> a los aerogeneradores ubicados sobre el C° Arenales, Chubut, Argentina. Los resultados obtenidos sugieren que tanto el método Español y el OIA<sub>WF</sub> presentan metodologías poco claras en su desarrollo, lo que carga de incertidumbre a los resultados. Aunque, el método ZVI es uno de los más aplicados, no es suficiente como metodología para evaluar el impacto sobre el paisaje. En conclusión, se observa una necesidad de generar metodologías fiables a partir de las cuales se obtengan indicadores, cuantificables y objetivos, del impacto sobre el paisaje.

**Palabras clave:** energía eólica, impacto visual, indicadores de impacto.

### INTRODUCCIÓN

Las últimas décadas se han caracterizado por un aumento de conciencia en relación a temas ambientales. Como resultado de esto, se ha observado un crecimiento sostenido de la implementación de energías renovables, especialmente de la energía eólica. La misma, ha ido acompañada de un aumento en la instalación de parques eólicos a nivel mundial. Sin embargo, aunque los parques eólicos se presentan en forma de proyectos medioambientalmente amigables, que contribuyen al crecimiento económico de una región, los mismos encuentran frecuentemente resistencia en la aceptación pública, especialmente en la población que se encuentra ubicada en las inmediaciones de las instalaciones. Una de las principales críticas que se les hace a las granjas eólicas se refiere a la poca integración de los aerogeneradores en el paisaje. En este aspecto, la experiencia en proyectos eólico, (Rodman et al., 2005; Furze, 2002) ha demostrado la necesidad de analizar y evaluar el impacto estético de las instalaciones eólicas.

Un camino para evaluar el paisaje y sus componentes es por medio de indicadores cuantificables (Weinstoerffer et al, 2000), los cuales son muy útiles cuando se desean establecer comparaciones. Sin embargo, con mucha frecuencia la obtención de este tipo de indicadores, se realiza a través de métodos difíciles de aplicar, ya que requieren de información que no está siempre disponible o bien emplean atributos de juicio subjetivos que son difíciles de evaluar. En este trabajo se comparan diferentes métodos de análisis de impacto paisajístico, aplicado a aerogeneradores con el objeto de analizar el tipo de indicadores que se obtienen en cada caso, sus fortalezas y debilidades. Esto finalmente contribuirá al futuro desarrollo de indicadores objetivos y cuantificables.

### METODOLOGÍA

Se analizaron diferentes métodos de evaluación de impacto visual aplicados a energía eólica. Se identificaron las principales características de cada uno de ellos, clasificándolos como cualitativos o cuantitativos. Luego, en la Tabla 1, se seleccionaron los métodos que consideran en sus análisis los factores y herramientas, que de acuerdo a la bibliografía consultada y las características de la tecnología evaluada, serán más relevantes a la hora de hacer una evaluación de impacto visual.

Métodos Evaluados	Características Relevantes	Tipo de Análisis	Observaciones
OIA <sub>WF</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis a través de imágenes, fotos del lugar o fotomontaje.</li> <li>- Los datos empleados son: N° equipos, tamaño.</li> <li>- Considera un factor climático.</li> <li>- Emplea herramientas como: CIELAB en los cálculos.</li> <li>- Los resultados pueden ser validados a través de encuestas.</li> <li>- No emplea GIS</li> <li>- No tiene en cuenta la población del lugar</li> </ul>	Cuantitativo	<p>Este método se basa en un análisis multicriterio.</p> <p>Es el único método que tiene en cuenta un factor climático.</p> <p>Los resultados son muy dependientes de la calidad de la foto, lugar desde el cual fue tomada la misma y de la subjetividad del evaluador.</p>
Español	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis a través de imágenes, fotos del lugar o fotomontaje.</li> <li>- Los datos empleados son: N° equipos, tamaño, ubicación de los equipos (coordenadas), ubicación de los barrios en las inmediaciones, población distribuida en los barrios, DEM.</li> <li>- Los resultados pueden ser validados a través de encuestas.</li> <li>- Emplea GIS</li> <li>- No considera un factor climático.</li> </ul>	Cuantitativo	<p>Este método requiere de un mayor N° de datos de entrada para su aplicación. Le da mucha importancia a la población afectada.</p>
ZVI Cuenca Visual	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis a través de imágenes, fotos del lugar o fotomontaje.</li> <li>- Los datos empleados son: N° equipos, tamaño, ubicación de los equipos (coordenadas), DEM.</li> <li>- Emplea GIS u otro programa que permita hacer el análisis.</li> </ul>	Cualitativo	<p>El método predice el impacto causado por un parque en sus alrededores y los clasifica en alto, medio y bajo.</p> <p>Se emplea como parte de otros métodos, por ejemplo: Método Español.</p> <p>Puede complementarse con un análisis de visión.</p>

Tabla 1: Resumen de las principales características de los métodos aplicados.

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

*Caso analizado*

En este trabajo, se evaluaron los aerogeneradores que se encuentran montados en el C° Arenales y forman parte del Parque Antonio Morán, Comodoro Rivadavia, Chubut.

**APLICACIÓN DE MÉTODOS SELECCIONADOS**

*Método ZVI o de Cuencas Visuales*

El método ZVI, es uno de los métodos más empleados para realizar análisis de visibilidad. Sin embargo es frecuente que en la bibliografía se hable del método de Cuencas Visuales, que es equivalente al primero. El concepto del ZVI se originó en la década del 70. Este, inicialmente presentaba una forma de cálculo muy lento y laborioso, sin embargo ha evolucionado hasta la actualidad, con el desarrollo de programas específicos para su aplicación (Buchan, 2002). El ZVI permite tanto conocer a que distancia un parque eólico puede ser visto, así como identificar áreas alrededor del mismo con diferentes niveles de visibilidad o de impacto por visibilidad. A través de este método se realiza un análisis cualitativo del impacto.

Se determinan las áreas visibles desde cada uno de los aerogeneradores para diferentes radios de influencia, definidos alrededor de los mismos. En el caso analizado se definieron tres radios respectivamente: 5, 10 y 15 km alrededor del lugar donde se encuentran montados los equipos. Además, la visibilidad también se verá afectada por la topografía. Por esta razón, para realizar esta evaluación fué necesario contar con: la altura máxima del punto de observación (aerogeneradores), la altura del observador y la altitud de cada punto del territorio además de contemplar la orientación de las laderas. En la actualidad existen varios softwares específicos para evaluaciones eólicas, que contemplan el análisis visual a través del método ZVI, como son WindPro y WindFarmer. Sin embargo el elevado costo de los mismos, hace que su empleo sea inaccesible. Por otro lado, este análisis puede realizarse también mediante el empleo de un GIS. Para la aplicación del método se emplearon los programas ArcGis 9.3 y Global Mapper 11.

*Resultados Obtenidos*

En la Figura 1, se muestran los resultados obtenidos al aplicar el método ZVI, en la región localizada alrededor del C° Arenales. En este cerro se encuentran ubicados 18 aerogeneradores pertenecientes al Parque Antonio Morán, Comodoro Rivadavia, Chubut. En la Figura 1 se han señalado con círculos, los radios de influencia con los que se ha trabajado: 5 km y 10 km respectivamente, quedando excluido los 15 km de radio por estar fueran de la región de interés. También se han indicado los barrios que se ubican en las cercanías del cerro. Los resultados obtenidos, se visualizan a través de una coloración de la región en escala de grises, donde el color blanco corresponde a un impacto escaso y el negro a un impacto elevado. De un primer análisis visual de los resultados obtenidos, se desprende la importancia de evaluar la zona más cercana a los aerogeneradores (dentro de un radio de 5 km). De esta forma, se determinaron, cuales son las zonas que presentan mayor impacto visual en ese radio de influencia: B° Cordon Forestal, B° Laprida y B° Máximo Abasolo.

Los resultados que se obtienen a través de este método, podrán ser más realistas, si se incluyen mapas de rutas, alturas de vegetación (obstáculos naturales), alturas de casa o edificios (obstáculos antrópicos), etc. Por otro lado, es recomendable complementar este método con el de determinación de las Líneas de Visión entre el observador y el objeto observado. Esto último consiste en el análisis y cálculo de la visibilidad de los aerogeneradores desde unos puntos y enclaves determinados sobre el territorio que se ha trabajado. Y es a través del mismo que se determina concretamente la visibilidad existente entre dos puntos.

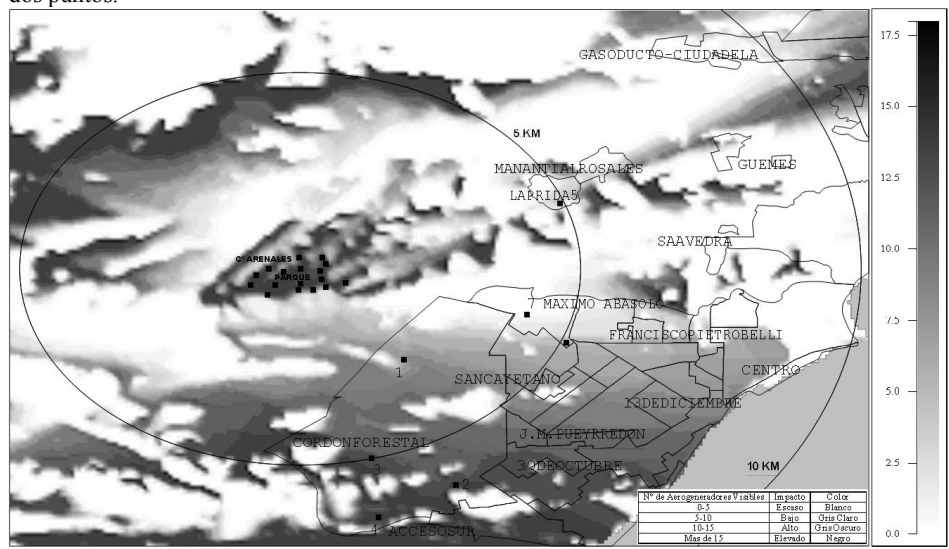


Figura 1: Resultados gráficos del método ZVI en el C° Arenales

*Método OIA<sub>WF</sub>*

Este método presenta el desarrollo de un indicador de impacto estético que combina mediciones de visibilidad, color, fractalidad y continuidad, los cuales pueden ser evaluadas a partir de fotografías (Torres Sibille et al., 2009). Además, el

método emplea un factor climatológico, el cual afecta sólo al factor de visibilidad y color, por ser estos los factores de mayor importancia en comparación con el resto. Cada factor involucrado, presenta un factor de peso en el cálculo final del  $OIA_{WF}$ . Los factores de peso fueron determinados por un panel de expertos utilizando el procedimiento Delphi y analizados mediante un enfoque multicriterio por medio de un análisis AHP (Torres Sibille et al; 2009). Para validar este método se utilizaron encuestas donde las personas debían contestar a partir de fotografías de parques (reales o fotomontaje) cuales le producían mayor impacto, mediante las comparaciones de imágenes.

La Figura 2 muestra una fotografía del C° Arenales y los 18 aerogeneradores. A partir de esta imagen se calcularon los factores antes mencionados.



Figura 2: Fotografía aérea de los aerogeneradores ubicados sobre el C° Arenales.

La disposición de los aerogeneradores permite evaluar la continuidad del parque a través del factor ( $I_{CT}$ ) y la fractalidad del paisaje ( $I_F$ ). Estos son indicadores de menor peso y no están afectados por el clima del lugar.

#### Resultados Obtenidos

##### 1. Visibilidad ( $I_V$ )

$$I_V = \begin{cases} 0.184x & \text{Para } 0 < x \leq 0.7 \\ -0.003x^2 + 0.114x + 0.051 & \text{Para } 0.7 < x \leq 12.3 \\ 1 & \text{Para } 12.3 < x \leq 20 \end{cases}$$

$$x = \left( \frac{S_{fa}}{S_{ba}} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

$S_{fa}$  = Área de la fotografía ocupada por el parque

$S_{ba}$  = Área inicial total o área de la fotografía.

Las áreas  $S_{fa}$  y  $S_{ba}$  fueron calculadas empleando la Figura 2 y el programa Adobe Photoshop CS3. En el caso que no hayan turbinas en el paisaje, el impacto percibido por el observador será cero. El impacto que cuantifica el  $I_V$ , se incrementa con el N° de turbinas y alcanza un valor máximo de 1 cuando el parque ocupa por encima del 15% de la visual.

$$x = \left( \frac{404.28\text{cm}^2}{2389.1052\text{cm}^2} \right) * 100$$

$$x = 16.92$$

$$I_V = 1$$

##### 2. Color ( $I_C$ )

Para analizar este indicador se consideran 3 parámetros: matiz, saturación y brillo, ya que son justamente las diferencias entre estos parámetros las que pueden generar contraste en el color de la imagen y afectar el impacto.

En este caso, para cada turbina se calculó un índice de color relativo ( $IC_R$ ), en función de los parámetros **L** (Luminancia), **a** (variación rojo- verde) y **b** (variación amarillo - azul) que se obtuvieron empleando Adobe Photoshop CS3. El  $IC_R$  se calculó como una relación entre  $IC$  (aerogenerador) y el  $IC$  de referencia (en este caso la referencia es el cielo).

$$I_{CL} = \begin{cases} 0 & \text{Para } 0 < x \leq 5 \\ \left( \frac{356}{10^9} \right) x^2 + \left( \frac{12}{10^4} \right) x - \left( \frac{56}{10^4} \right) & \text{Para } 5 < x \leq 1563 \\ 1 & \end{cases}$$

Para  $1563 < x \leq 1700$

Icl (Color)	Referencial(cielo)	Aerogenerador
L	30007	13313
a	-26	130
b	-295	943
$IC = a*1000/(L*b)$	0.002937	0.0103

Tabla 2: Resultados del cálculo del  $IC_R$

$$x = IC_R = \frac{IC_{Aerogenerador}}{IC_{Cielo}} = 3.5257$$

$$x = 3.5257$$

$$I_{CL} = 0$$

### 3. Fractalidad ( $I_F$ )

A través de este indicador se analiza el contorno del parque eólico, para lo cual se empleó el programa HarFa (Harmonic and Fractal Image Analyzer).

$$N(d) = \frac{1}{d^D} \quad (2)$$

Donde:

$N(d) = n^\circ$  de boxes de tamaño lineal  $d$ , necesarios para cubrir un set de datos de puntos distribuidos en un plano de 2 dimensiones.

$$I_F = \begin{cases} 0 & \text{Para } x = 0 \\ 1 & \text{Para } 0 < x \leq 0.7 \text{ y } 1.7 < x \leq 2 \\ -0.3^{-1}x + 0.3^{-1} & \text{Para } 0.7 < x \leq 1 \\ -2.04x^2 + 6.94x - 4.9 & \text{Para } 1 < x \leq 1.7 \end{cases}$$

$$x = \left( \frac{D_{fa}}{D_{fb}} \right) \quad (3)$$

Donde  $x$  relaciona la dimensión fractal del parque versus la dimensión fractal de la principal línea topográfica del fondo de la fotografía (usualmente se toma la línea del horizonte). La  $D_f$  valdrá 0 si no hay turbinas, además si se asume una geometría plana ( $D_b=2$ ), alcanzará su valor máximo.

$$D = x = 1.609$$

$$I_F = -2.04 * 1.609^2 + 6.94 * 1.609 - 4.9$$

$$I_F = 0.98$$

### 4. Continuidad ( $I_{CT}$ )

$$I_{CT} = \begin{cases} -4x^2 + 12x - 8 & \text{Para } 1 \leq x \leq 1.5 \\ 1 & \text{Para } 1.5 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

$$x = \sum_{j=1}^N \left( \frac{2^{N-j}}{2^N - 1} \right) \bullet \left( 1.05^{|t_{wf} - t_{tl}|_j} \right) \quad (4)$$

Donde:

$N$  = número de capas

$j$  = número que describe la posición de la capa

En el caso que  $x$  tome un valor próximo a 1.5, el impacto por continuidad es máximo.

$$x = 1.1604$$

$$I_{CT} = -4 * 1.1604^2 + 12 * 1.1604 - 8$$

$$I_{CT} = 0.5387$$

### Coefficiente climatológico $\beta^*$

Los valores de los indicadores  $I_v$  e  $I_{cl}$  dependen de las condiciones atmosféricas existente en el área comprendida entre el objeto y el observador. Así se calculó el factor meteorológico  $\beta$ .

$$\beta^* = \sum_{i=1}^n P_i (\beta^* = X_i) * X_i \quad (5)$$

Donde:

$X_i$  = valor asignado por expertos de climatología

$P_i$  = probabilidad que ese clima ocurra en un día del año.

Se evaluó el  $\beta$  calculando el número de días de climatología  $i$  en el año, dividido por el  $n^\circ$  de días en el año. Para hacer esta evaluación se tomaron datos del SMN argentino.

Clima $i$	Valor climatológico $X_i$
Día claro	1.00
Otro	0.75
Precipitación	0.50
Niebla	0.25

Tabla 3: Valores climatológicos. Fuente: Torres Sibille et al; 2009

En el caso analizado, se consideró un  $\beta = 0,75$ . Luego se afectaron los factores  $I_v$  e  $I_{cl}$  por el mismo, obteniéndose sus valores finales:

$$I'_V = I_V \beta^* = 1 * 0.75 = 0.75$$

$$I'_{CL} = I_{CL} \beta^* = 0 * 0.75 = 0$$

#### Cálculo del Indicador

Como ultimo paso se calculó el Indicador a través de la siguiente expresión:

$$OAI_{WF} = \beta^* (0.64I_V + 0.19I_{CL}) + 0.09I_F + 0.08I_{CT} \quad (6)$$

$$OAI_{WF} = 0.75^* (0.64 * 1 + 0.19 * 0) + 0.09 * 0.98 + 0.08 * 0.5387$$

$$OAI_{WF} = 0.58$$

El valor alcanzado por el Indicador  $OAI_{WF}$ , señala la existencia de un Impacto sobre el paisaje. El cual, se estima estará entre 0 (impacto nulo) y 1 (impacto máximo). Sin embargo el método no hace referencia a una escala con respecto a la cual se pueda valorar el Indicador calculado. Sólo hace referencia a la aplicación del mismo a diferentes situaciones, tal que los valores de los indicadores sean comparados entre si para las situaciones analizadas, evaluando cual es la de mayor impacto.

#### Método Español

Este método permite cuantificar el impacto visual causado por una granja eólica. El mismo presenta su base en el empleo de Sistemas de Información Geográfico (SIG). A través de este análisis se plantea el cálculo de cinco coeficientes parciales para llegar finalmente al Indicador (Hurtado et al., 2004).

#### Resultados Obtenidos

1. *Coficiente de visibilidad del parque desde la villa (a)*: este representa un valor medio y es calculado mediante la siguiente expresión:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{WM}}{n} \quad (7)$$

Donde:

$n$  =  $n^\circ$  de áreas dentro de la villa con diferentes vistas al parque.

$x_i$  =  $n^\circ$  de aerogeneradores visibles desde el área  $i$ .

$WM$  =  $n^\circ$  total de aerogeneradores del parque.

Para el cálculo de este coeficiente, se aplicó previamente el método de cuencas visuales, ver Figura 1. A partir del mismo, se obtuvieron zonas con diferentes visibilidades en el área analizada. Se consideraron siete regiones, dentro de la misma, que presentaban diferentes vistas del parque. Además en cada área se determinó cuantos aerogeneradores eran visibles a partir de los resultados que se obtuvieron con el estudio de cuencas visuales.

$$n = 7$$

$$WM = 18$$

Puntos seleccionadas sobre la región con visibilidad	$x_i$ ( $N^\circ$ aerogeneradores visibles)
1	10
2	15
3	16
4	18
5	5
6	6
7	1

Tabla 4: Resumen de resultados parciales empleados en el cálculo de  $a$

$$a = 0,56$$

2. *Coficiente de visibilidad de la villa, tomado desde el parque (b)*: relaciona el N° de casas visibles desde cada turbina con respecto al N° total de casas de la villa. Es independiente del coeficiente anterior.

$$b = \frac{\text{N}^\circ \text{ de casas visibles desde el parque}}{\text{N}^\circ \text{ Total de casas de la villa}} \quad (8)$$

Para el cálculo de este coeficiente fue necesario contar con la ubicación de los barrios que conforman el ejido de la ciudad Comodoro Rivadavia y con la población de cada uno de ellos. Los diferentes barrios fueron representados en forma de polígonos, lo que permitió delimitar la extensión de cada uno y su posición relativa con respecto a los aerogeneradores. A partir del análisis de cuencas visuales, se determinaron los barrios o regiones con mayor visibilidad y más cercanos a los equipos (dentro de los 5 km). Los mismos son: B° Cordón Forestal, B° Laprida y B° Máximo Abasolo. En cada barrio se determinaron las zonas con visibilidad y se trabajó con el número de casas de los mismos.

Barrios	Total de casas	Casas con visibilidad
Cordón Forestal	436	326
Laprida	838	780
Máximo Abasolo	2156	1540
Total	3430	2646

Tabla 5: Resumen datos empleados para el cálculo de b

$$b = 0,771428571$$

3. *Coficiente de visibilidad del parque tomado como un cubo (c)*: un parque eólico se puede visualizar en el interior de un paralelepípedo de forma regular. Esto le permite al observador decir si el parque es visto desde el frente, en diagonal o longitudinal, dependiendo del lado de la visión. De acuerdo a esto, se asigna un factor "v" según la vista que se tenga del mismo, ver Tabla 6. Además se trabaja con el número de turbinas perteneciente al parque eólico, ya que la inclusión de 3 turbinas no es el mismo que incluir 30. Para ello, se emplea un factor de cantidad "n", ver Tabla 7. Luego con estos dos valores, se calcula el coeficiente de visibilidad:

$$c = n * v \quad (9)$$

Vista	Factor v
Frontal	1.00
Diagonal	0.50
Longitudinal	0.20

Tabla 6: Factor de corrección en función de la situación. Fuente: Hurtado et al; 2004

N° de Aerogeneradores	Factor n
1-3	0.50
4-10	0.90
11-20	1.00
21-30	1.05
>30	1.10

Tabla 7: Factor de corrección en función del N° de aerogeneradores. Fuente: Hurtado et al; 2004

En el caso analizado y de acuerdo a la Figura 2, se considero que la vista de los aerogeneradores es frontal, por lo que:  $v = 1$   
 En tanto el factor de corrección (n) en función del N° de aerogeneradores evaluados (18 equipos), será de 1  
 Finalmente, el coeficiente c toma el valor de:  
 $c = 1$

4. *Coficiente de distancia entre el parque y la villa (d)*: este coeficiente es directamente proporcional a la alteración del paisaje. Para el análisis, a cada turbina se asigna un radio de influencia visual. La Tabla 8 muestra los valores que tomará d en función del radio de influencia.

Distancia X	Coficiente d
$X < 500 \text{ m}$	1.00
$500 \text{ m} < X < 6000 \text{ m}$	$1.05 - 0.002X$
$6000 \text{ m} < X$ (si el molino es visible)	0.10

Tabla 8: Coficiente en función de la distancia. Fuente: Hurtado et al; 2004

La Tabla 9, muestra la distancia que hay entre los puntos seleccionados sobre cada región con visibilidad y los aerogeneradores.

Puntos seleccionadas sobre la región con visibilidad	Distancia Parque-Receptor (Km)
1	2,728
2	5,19
3	4,735
4	6,23
5	4,987
6	4,951
7	4,042
Distancia Promedio	4,7

Tabla 9: Datos empleados en el cálculo de d.

$$d = 0,11$$

5. *Coficiente de población de la villa (e)*: el impacto se incrementa con el N° de habitantes, siendo máximo en áreas con grandes poblaciones. De acuerdo a la Tabla 10, se calcula el coeficiente e según el N° de habitantes con visibilidad en la región analizada.

N° de Personas	Coficiente e
>300	1.00
100-300	0.90
50-100	0.60
20-50	0.45
5-20	0.35
1-5	0.20
0	0.00

Tabla 10: Coeficiente función del N° de personas. Fuente: Hurtado et al; 2004

N° de habitantes con visibilidad = 9606

$$e = 1$$

#### Análisis parcial de evaluación del impacto visual

Se realizan 2 análisis parciales, los cuales se diferencian en la inclusión del coeficiente e, es decir en el 2° caso se tendrá en cuenta el N° de habitantes con visibilidad. Sin embargo debido a que el coeficiente toma el valor 1, los valores obtenidos por los coeficientes parciales coinciden.

$$PA_1 = a * b * c * d \quad (10)$$

$$PA_1 = 0.56 * 0.8 * 1 * 0.11$$

$$PA_1 = 0.52$$

$$PA_2 = a * b * c * d * e \quad (11)$$

$$PA_2 = 0.56 * 0.8 * 1 * 0.11 * 1$$

$$PA_2 = 0.52$$

El nivel de impacto visual debido a los análisis parciales puede analizarse de acuerdo a la Tabla 11:

Análisis Parcial	Nivel de Impacto	Comentarios
0.00-0.10	Mínimo	La instalación del parque eólico no tiene ningún impacto
0.10-0.30	Leve	Se recomienda una disminución en el impacto a través del camuflaje de parques eólicos (por ejemplo, el color y/o vegetación)
0.30-0.50	Medio	Deben hacerse esfuerzos para disminuir el impacto visual, mediante la reubicación de algunas de las torres que están más cerca de los habitantes
0.50-0.70	Serio	Una parte o la totalidad de la ubicación del parque eólico debe ser corregida
0.70-0.90	Muy Serio	La ubicación del parque eólico debe ser revisada y corregida en parte o en su totalidad, tratando de cambiar su lugar
0.90-1.00	Grave	No existen razones justificadas para llevar a cabo la instalación del parque eólico.

Tabla 11: Determinación del nivel de impacto. Fuente: Hurtado et al; 2004

*Evaluación total del impacto visual*: esto se hace a través del Coeficiente Total de Población Afectada (C), que considera el a,b y considera el N° de habitantes del lugar y el N° de habitantes del área analizada.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^m a * b * NH_m}{NTHE} \quad (12)$$

Donde:

C: coeficiente total de personas afectadas.  
NHm: población de la villa m  
NTHE: población total del área analizada  
NHm: 12414 habitantes  
NTHE: 135813 habitantes

$C = 0,05$

### CRÍTICA A LOS MÉTODOS APLICADOS

Los resultados obtenidos de la aplicación de los métodos mencionados no pueden ser comparados, debido principalmente a las diferencias que presentan en relación a las variables o coeficientes que consideran, además de que algunos arrojan una valoración cuantitativa, mientras otros dan una evaluación cualitativa. Sin embargo en este trabajo se ha evaluado el impacto sobre el paisaje causado por un parque eólico, a través de cada uno de ellos, identificando a partir de esto las debilidades y fortalezas de cada uno. En este aspecto el Método ZVI o de Cuencas Visuales, es uno de los más aplicados en la actualidad, aunque la precisión de sus resultados está sujeta a la cantidad y calidad de los datos con que se cuenta para realizar el análisis. Además los resultados que se obtienen (áreas con visibilidad) deben ser complementados con un análisis de líneas de visión, que verifique la visibilidad entre dos puntos cualesquiera de interés. Tanto el método OIA<sub>WF</sub> como el Español, arrojan indicadores cuantificables, pero mientras el primero se basa en un análisis realizado íntegramente sobre fotografías, el segundo incluye además un análisis de cuencas visuales, lo que marca las primeras diferencias entre estos. Aunque ambos métodos analizan la visibilidad, factor de gran relevancia, los caminos de análisis varían mucho entre uno y otro. Por otro lado se ha detectado en la aplicación de ambos métodos, un elevado grado de imprecisión en relación a la forma que se calculan los coeficientes. En este aspecto, el cálculo de los coeficientes se verá afectado por el criterio de la persona que lleve a cabo el mismo. Así por ejemplo en el método OIA<sub>WF</sub>, los resultados estarán influenciados por la habilidad del analista para trabajar con imágenes. Finalmente, la forma en que deben ser calculados algunos indicadores es poco clara, lo que genera que el analista deba aplicar su propio criterio de análisis, lo que se ve reflejado en los resultados finales. Aunque el método OIA<sub>WF</sub> y el Español general indicadores cuantificables, ninguna de los métodos presenta una valoración del Indicador Final que permita posicionar al mismo en un impacto alto o nulo.

### CONCLUSIONES

En la actualidad, existe un déficit de indicadores de seguimiento del paisaje y visuales que permita obtener información para las tareas relacionadas con la planificación y gestión de los paisajes, así como para monitorear los cambios en el mismo. Esto es debido a la complejidad del paisaje visual.

En este aspecto, para alcanzar una adecuada evaluación del paisaje visual, sin dudas, es necesario un conocimiento de los factores o variables que afectan al mismo, de la tecnología u objeto que se está evaluando y del observador. Así por ejemplo, la visibilidad de objetos tales como turbinas en un paisaje está determinada principalmente por la topografía y por una serie de aspectos subjetivos que son, básicamente, los ojos del espectador. Sin embargo estos elementos son insuficientes para el desarrollo de indicadores. Los métodos existentes carecen de indicadores elaborados a partir de un adecuado conocimiento de los aspectos mencionados, lo que sugiere la necesidad de avanzar en el desarrollo metodológico para la generación de indicadores cuantificables y que además sean objetivos.

### REFERENCIAS

- Rodman LC, Meentemeyer RK. (2005) A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California. *Energy Policy* 34, 137–49.
- Furze J. (2002) Stealth wind turbines: designs and technologies to reduce visual pollution. *REFOCUS*; March/ April:18–20.
- Weinstoerffer J, Girardin P. (2000) Assessment of the contribution of land use pattern and intensity to landscape quality: use of a landscape indicator. *Ecol Modell* 130, 95–109.
- Nigel Buchan. (2002) Visual Assessment of Windfarms Best Practice. Scottish Natural Heritage Commissioned Report F01AA303A.
- Torres Sibille et al. (2009). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13. 40–66
- Hurtado J. P. (2004) Spanish method of visual impact evaluation in wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8, 483–491

### ABSTRACT

The wind energy visual impact is one of the main factors affecting public acceptance of the wind farms. The current methods of landscape evaluation lack indicators covering the relevant variables and to quantify the problem objectively. The objective of this study was to evaluate the main methods applied to the visual impact of wind farms, through the study of a case. Three methods were applied: ZVI, Spanish method and OIAWF to the wind turbines located on the C° Arenales, Chubut, Argentina. The results suggest that the Spanish and the OIAWF methods present methodologies unclear related to its development. That gives uncertainty into the results. The ZVI is one of the best known and applied method, for example it is included as part of the Spanish method. In this way, there is a growing need to generate reliable methodologies, that permit to develop quantifiable indicators of impact on the landscape.

**Keywords:** wind energy, visual impact, impact indicators.

### AGRADECIMIENTO

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