

# EVALUACIÓN MULTICRITERIO DE POSIBLES SITIOS DE REASENTAMIENTO DE VILLA LAS LOICAS POR EMBALSE PORTEZUELO DEL VIENTO

Victor H. Burgos<sup>1</sup>, Nadia Rapali<sup>2</sup> y Sergio Bugarín<sup>3</sup>

<sup>1</sup> HydroGlobal Consultores en Ingeniería Hidroambiental.

<sup>2</sup> Agencia Provincial de Ordenamiento Territorial (APOT) /Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial, Provincia de Mendoza.

<sup>3</sup> EMESA Empresa Mendocina de Energía SAPEM.

E-mail: vhburos@yahoo.com.ar

## Introducción

El Proyecto Portezuelo del Viento (PdV) consiste en una presa de 178 m de altura de tipo HCR y central hidroeléctrica a pie de presa (de 212.5 MW de potencia) que se construirá sobre el río Grande, en Malargüe al sur de la provincia de Mendoza, Argentina (a 70° 00' de Longitud Oeste y 35° 49' de Latitud Sur).

Comprende también obras complementarias, como la recomposición de dos tramos de rutas (RN 145 y RP 226), líneas de transmisión de alta tensión, y la relocalización de la Villa Las Loicas y puestos dispersos, que serán afectados por cota de embalse o dentro polígono de afectación (según Ley N° 9.011).

El proceso de reasentamiento involuntario tendrá como objetivo a una población de 179 habitantes, incluidos puesteros aledaños al paraje Las Loicas, principal centro habitacional afectado.

## Objetivos

El objetivo del trabajo es detallar la metodología utilizada en la priorización, validación y recomendación de sitio para el reasentamiento del paraje Las Loicas.

Como objetivos específicos se tuvieron: a) realizar una pre-selección de sitios; b) seleccionar y ponderar las variables a utilizar; c) evaluar amenazas naturales y factibilidad de infraestructura; y d) establecer un orden de prioridad de los sitios de relocalización.

## Metodología

Con la revisión bibliográfica respecto a criterios y protocolos de reasentamientos involuntarios debido a proyectos de desarrollo regional, que incluye, entre otras: el Manual de Gestión Ambiental para Obras Hidráulicas con Aprovechamiento Energético de EBISA (Emprendimientos Energéticos Binacionales Sociedad Anónima), las Directrices Operativas del BID (Banco Interamericano de Desarrollo OP 4.12; OD 4.30), y del WCD (*World Commission on Dams*), junto con estudios sociales de referencia (NTPC, 2005; Tilt et al., 2009; Dell, 2013) se propuso una evaluación multicriterio (EMC) en el marco de un SIG (Sistema de Información Geográfica).

Para la pre-selección de sitios, se tuvieron en cuenta variables *excluyentes*: a) cota de coronamiento (1.633 m.s.n.m.); b) cota de altura máxima por condiciones néveas (menos de 1.800 m.s.n.m.); c) pendiente máxima del 15 %; y d) ladera con mayor exposición solar. Luego variables *restrictivas*, algunas de ellas validadas posteriormente en taller con la población afectada: a) conectividad, (cercanía al futuro embalse, a la futura RN 145, a los caminos de trashumancia, y al Paso Pehuenche o aduana); b) estimación de superficie necesaria, y c) situación legal dominial.

Se caracterizaron cada uno de los niveles de información (o criterios) que surgieron de la tipificación de las amenazas consideradas en la evaluación de seis sitios identificados para reasentamiento poblacional, con la aplicación en entorno SIG del método Proceso Jerárquico Analítico, AHP por sus siglas en inglés de "*Analytic Hierarchy Process*" (Saaty, 1980).

Las principales amenazas naturales consideradas fueron: a) **Aluviones** (inundaciones); (por medio de características

morfológicas); b) **Procesos de Remoción en Masa**; (caracterización geológica y geomorfológica, análisis de cobertura vegetal, análisis de estabilidad de taludes); c) **Avalanchas de nieve** (cobertura névea y condicionantes morfológicos); d) **Volcanismo**; (por análisis de antecedentes y distancias a centros emisores); e) **Sismo**; y f) **Vientos**;

Asimismo, se incluyeron variables que caracterizan la infraestructura y accesibilidad de los sitios identificados, analizando los principales condicionantes, tales como: a) Conectividad; b) Agua; c) Saneamiento; d) Energía; e) Paisaje; y f) Pendientes.

A la ponderación de las amenazas naturales, se le sumó entonces, las variables (o condicionantes) anteriores para caracterizar la prefactibilidad de infraestructura, generando finalmente un ranking global, caracterizando cada sitio de relocalización potencial bajo análisis.

## Materiales

Para la amenaza hidrológica que incide tanto en la generación de escorrentías superficiales, como en procesos de remoción en masa, se caracterizó la morfometría de cada cuenca de aporte, utilizando la interfaz HEC GeoHMS (HEC, 2000 cit. en Burgos (2005) y un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con resolución de 12.5 m (ASF DAAC, 2017) y siguiendo la metodología indicada en Burgos & Salcedo (2014).

Para la zonificación de saturación hídrica de suelos, se utilizó el concepto de índice topográfico de humedad (twi, por sus siglas en inglés) (Beven y Kirby, 1979, cit. en Pack et al, 1998) que indica la relación entre área de acumulación de flujo (*upslope grid*) y la pendiente de la celda analizada.

Para la amenaza de avalanchas de nieve se consideraron factores condicionantes como: a) umbral de pendiente y litología, b) cobertura y usos del suelo, y c) curvatura (controla las zonas de acumulación y propagación que influye en el grado de saturación del suelo) y orientación de laderas (zonas de umbrías o solanas).

Para la amenaza de procesos de remoción en masa, se analizó la estabilidad de taludes, con el modelo SINMAP (*Stability Index MAPping*), el cual caracteriza cada celda (pixel) en función del índice de estabilidad (Pack et al, 1998; Tarolli y Tarboton, 2006).

Asimismo se analizaron coberturas néveas y vegetales por análisis multitemporal empleando imágenes del satélite Landsat 2, 5 y 8. Las fechas comprenden los años 1975, 1984, 1992, 2005 y 2015 y las resoluciones van desde los 60 m hasta 15 m. Para las coberturas vegetales se utilizó el NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*), con imágenes Sentinel 2 de fecha 26/01/2017 y resolución espacial de 10 m.

Para la amenaza volcánica se analizaron antecedentes de la afectación de posibles plumas de cenizas volcánicas, de volcanes cercanos (Planchón-Peteroa, Puyehue-Maule y Quizapú).

Para la amenaza sísmica, se utilizó la zonificación regional, junto con mapeos de estructura geológica (fallas).

Se interpreta que mientras mayor área natural dispone un observador, mayor valor escénico paisajístico tendrá esa posición y por ende mayor valor relativo, respecto de la comparación con las otras locaciones posibles para el reasentamiento. Esta variable se la

caracterizó desde el concepto geográfico denominado cuenca visual (Tévar Sanz, 1996).

Para la obtención de los pesos relativos de las variables analizadas se realizaron encuestas a especialistas de diferentes perfiles utilizando la técnica AHP (Saaty, *op cit.*).

**Resultados**

Se presenta en Tabla 1 los pesos de ponderación de cada variable como promedio de 13 encuestas realizadas.

**Tabla 1.-** Pesos relativos de variables para método AHP.

Amenazas Naturales	Peso Relativo	Infraestructura	Peso Relativo
Inestabilidad Laderas	29 %	Agua	29 %
Aluviones	24 %	Energía	20 %
Avalancha nieves	15 %	Sistema efluentes	15 %
Volcanismo	14 %	Pendiente	15 %
Sismo	10 %	Conectividad	15 %
Vientos	8 %	Paisaje	6 %

Con los estudios de amenazas naturales y de accesibilidad a las infraestructuras básicas, se pudo validar la pre-selección de sitios.

En Tabla 2 se resumen los resultados de cada análisis según la variable considerada y para cada sitio (se consideraron los seis sitios predefinidos, denominados de A a F). Estos resultados se estandarizaron y ordenaron dando lugar a un ranking por variable y uno global como suma de todas las variables ponderadas por su peso, y se expresan en un gráfico de ranking (Figura 1).

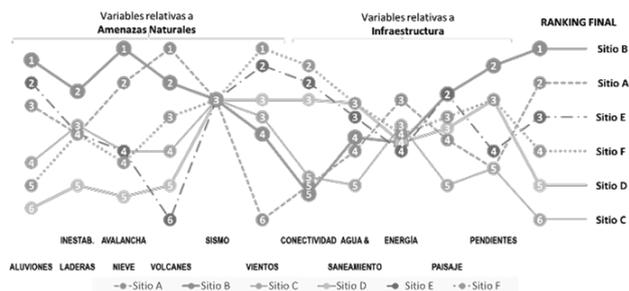
**Tabla 2.-** Resultados.

Variable	Sub Variable	A	B	C	D	E	F
Aluviones	Área Cuenca [Ha]	123.0	61.9	352.7	653.5	132.7	781.8
	ΔH cuenca [m]	528.6	318.4	1115.1	1176.5	476.7	1176.4
	Pendiente Media Cuenca [%]	34.4	30.8	45.7	49.5	24.0	36.5
Inestab. Laderas	Laderas inestables [%]	1.0	0.1	7.8	8.8	0.9	2.2
	Suelo descub. [%]	7.0	9.0	21.0	21.8	4.0	13.0
Avalancha nieves	Saturac Humedad [%]	15.0	7.0	8.0	8.9	14.0	12.0
	Zonas con Pend < 15% [%]	7.0	8.0	4.0	8.1	26.0	6.0
	Max Cob. Nievea (1992) [%]	31.0	4.0	69.0	97.0	100.0	59.0
Volcanes	Prom. Cub. Nieve [%]	10.0	1.0	23.0	44.0	26.0	50.0
	Zonas suscep. avalanchas [%]	2.0	0.0	12.0	16.0	2.0	6.0
	Distancia [km] a Vn. Maule	53.2	52.3	44.8	42.8	39.1	40.0
Sismo	Distancia [km] a Vn. Calabozos	51.4	50.1	40.0	40.7	41.5	42.2
	Distancia [km] a Vn. Quizapu	68.3	67.2	57.0	56.3	54.8	55.8
	Grado / Intensid. Sismo	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Vientos	Amenaza Viento [%]	66.7	51.3	33.3	33.3	33.3	33.3
	Cobertura vegetal [%]	62.0	98.0	70.0	84.2	98.0	100.0
Conectiv.	Distancia a RN145 [m]	434.0	580.0	550.0	275.0	420.0	50.0
	Dif. Altura a RN145 [m]	101.0	160.0	175.0	15.0	47.0	6.0
	Distancia a Bardas Blancas [km]	23.7	28.1	46.3	53.2	55.7	54.7
	Distancia a Paso Pehuenche [km]	62.1	57.5	39.6	32.6	30.8	31.3
Agua y Saneam.	Saturac. Humedad [%]	31.0	29.0	26.0	16.0	12.0	26.0
	Distancia a Río [km]	0.7	0.7	0.8	0.5	0.7	0.9
	Desnivel a río [m]	98.0	72.0	96.0	57.5	60.0	54.0
Energía	Distancia a Vega [Km]	0.8	0.6	0.8	0.3	0.4	0.1
	Desnivel a Vega [m]	60.0	48.0	83.0	34.3	-17.0	-6.0
	Distancia a Coronamiento [km]	1.8	6.4	24.4	31.8	33.9	32.8
	Orient. N [%]	78.0	15.0	26.0	18.0	27.0	33.0
Paisaje	Orient. NO [%]	14.0	1.0	58.0	34.0	12.0	40.0
	Orient. NE [%]	6.0	51.0	1.0	13.0	36.0	1.0
	Prom. Cub. Nieve (en sitio) [%]	1.0	1.0	1.0	26.0	43.0	3.0
Pendientes	Área Cuenca Visual [Km²]	55.5	34.0	8.9	20.7	21.3	10.9
	Suelo desnudo (en sitio) [%]	38.0	0.0	32.0	20.0	1.0	0.0
	Pend<15% (en sitio) [%]	28.0	64.0	59.0	59.0	59.0	72.0
	Máx Dif. de Elevación [m]	75.6	61.6	97.4	69.9	91.1	83.0

El análisis de las 12 variables principales junto con las 34 sub-variables que caracterizan las primeras, permitió establecer un orden o ranking de los seis sitios bajo estudio, en función de las amenazas naturales consideradas y las relativas a la infraestructura.

Dicho análisis concluye que el sitio denominado “B” ubicado en cercanías al Puesto Herrera, es el más recomendado para elegirlo como lugar de reasentamiento del paraje Las Loicas, ya que se minimizan las amenazas y, gracias a su ubicación próxima al cierre de la presa, quedaría a una distancia que posee más ventajas que

desventajas respecto a temas de dotación de energía o infraestructura, por ejemplo.



**Figura 1.-** Priorización de sitios para reasentamiento Villa Las Loicas.

En segundo lugar queda como recomendación el sitio denominado “A” ubicado en la zona de invernada del puesto Moreno, al este del Arroyo Las Barditas.

**Conclusiones y recomendaciones**

Se destaca la ventaja del método AHP para la ponderación de variables, junto con la priorización y caracterización geográfica de potenciales sitios para relocalización debido a una presa, ya que da un marco robusto y estadístico a las apreciaciones cualitativas de cada enfoque disciplinar. Sin embargo, a pesar de que en el modelo propuesto se tienen en cuenta los impactos de las amenazas naturales y la aptitud para la recepción de infraestructuras (cuyo análisis caracterizaría la capacidad de acogida del lugar), es importante establecer un trabajo más detallado que vaya acorde con los objetivos y medidas consensuadas y validadas por los actores locales, mediante el Plan Integral de Reasentamiento Involuntario.

**Referencias bibliográficas**

ASF DAAC (2017), ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected High res; © JAXA/METI 2007. Accessed through ASF DAAC 11 December 2017. DOI: 10.5067/Z97HFCNKR6VA.

Burgos, V. (2005) “Modelación Hidrológica de Cuencas Piedemontanas. Uso de Sistemas de Información Geográfica en Hidrología Superficial” en XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza.

Burgos, V. Salcedo, A. P. (2014). “Modelos digitales de elevación: tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información” Acta de Resúmenes, 2do Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. Ezeiza, INA. ISBN 978-987-45194-2-9.

Dell, J. (2013) “A GIS-Based Process Model for Transitional Settlement Site Selection” (Doctoral dissertation, The George Washington University).

Nam Theun 2 Power Company, NTPC (2005) Nam Theun 2 HydroPower Project – Social Development Plan, Volume 2 – Chapter 10. Resettlement Site Selection, Land Use, Planning, and Land Tenure.

Pack, R. T., Tarboton, D. G., & Goodwin, C. N. (1998). “The SINMAP approach to terrain stability mapping”. In 8th congress of the international association of engineering geology, Vancouver, British Columbia, Canada (Vol. 21, p. 25).

Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.

Tarolli, P. & Tarboton, D. G. (2006) “A new method for determination of most likely landslide initiation points and the evaluation of digital terrain model scale in terrain stability mapping” *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union, 2006, 10 (5), pp.663-677.*

Tévar Sanz, G. (1996) “La Cuenca visual en el análisis del paisaje” *Serie Geográfica, vol.67, pp. 99-113.*

Tilt, B., Braun, Y., & He, D. (2009). “Social impacts of large dam projects: A comparison of international case studies and implications for best practice” *Journal of environmental management, 90, S249-S257.*