

Evaluación cuantitativa del impacto visual cromático producido por explotaciones a cielo abierto mediante técnicas de análisis de imagen

PINTO, V. (*); FONT, X. (*); SALGOT, M. (**); TAPIAS, J.C. (**); MAÑA, T. (***)

RESUMEN Una de las mayores afecciones sobre el ambiente que producen las explotaciones a cielo abierto, y en especial las canteras es el impacto visual, del cual se puede considerar dos aspectos; el primero en relación al área que ocupa la cantera sobre la visión humana desde una localización concreta, y otro el contraste cromático que existe entre la explotación y su entorno. En este trabajo se pretende desarrollar una metodología de evaluación del impacto cromático de una forma objetiva y comparable. Para ello se ha diseñado un método de análisis de imagen que permite obtener de una fotografía o imagen su equivalente en función del impacto cromático, teniendo en cuenta las características visuales humanas. Se presenta como ejemplo de esta metodología un estudio en la cantera Martinenca (Alcanar, Tarragona) de Valenciana de Cementos (grupo CEMEX), cuyo objetivo inicial fue la de redactar un proyecto de restauración de dicha cantera.

IMAGE ANALYSIS APPLIED TO QUANTITATIVE EVALUATION OF CHROMATIC IMPACT GENERATED BY OPEN-PIT QUARRIES

ABSTRACT One of the most important environmental impacts due to opencast mining, and specially quarries is the visual impact. The evaluation of this impact is done considering two aspects: first, the area occupied by the quarry as it is visible by an observer from a specific place, and second, the chromatic contrast existing between landscape and exploitation. With this study we intended to develop a methodology to assess the chromatic impact in an objective and comparable form. To assess this impact we prepared a method based on image analysis that allows to obtain from a picture or image its equivalent as a function of chromatic impact, according to human eye sensibility to different wavelengths. The methodology was applied in the Martinenca quarry (Alcanar, Tarragona) exploited by Valenciana de Cementos (Cemex group), the objective of this study was to edit a restoration project of this quarry.

Palabras clave: Evaluación; Impacto; Visual; Cromático; Cantera; Color; Paisaje.

INTRODUCCIÓN

A partir de mediados de este siglo se ha producido un notable incremento en la demanda de las denominadas rocas industriales para la industria en general y la constructiva en particular, lo cual ha dado lugar a un aumento paralelo en el número y tamaño de las explotaciones que afectan a este tipo de materiales. Generalmente se trata de explotaciones a cielo abierto y que ocupan extensas superficies de territorio.

Una de las afecciones medioambientales más evidentes de estas explotaciones a cielo abierto es el deterioro paisajístico que generan en su entorno, traducido en el impacto visual que provocan en el observador. De todas formas, debe

tenerse en cuenta que en el concepto de paisaje se incluye además del marco puramente físico, las posibles connotaciones subjetivas y emocionales que la observación del mismo puede ejercer sobre el individuo.

Si dejamos aparte las consideraciones emocionales que suscita el paisaje y nos restringimos únicamente a sus características físicas, el *impacto paisajístico* se puede definir como el cambio producido por la generación artificial de discontinuidades, tanto cromáticas como morfológicas, en el paisaje. La percepción de éstas por un observador constituye el *impacto visual*.

Para la evaluación de este impacto deben considerarse estos dos aspectos (paisaje y visión) que no deben separarse, por ello el término que más se adapta a este concepto es el de Impacto Paisajístico-Visual.

Para su cuantificación se tienen en cuenta dos factores: el morfológico, producido por la creación de nuevas geometrías no integradas; y el cromático, producido por la eliminación de la cobertura vegetal y la creación de contrastes de color con el entorno.

(*) Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Facultad de Geología. Universidad de Barcelona.

(**) Departamento de Productos Naturales, Biología Vegetal y Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona.

(***) Valenciana de Cementos.

Los impactos potenciales que la actividad extractiva o los resultados de la misma producen sobre el paisaje o sobre los recursos visuales son: 1) creación de zonas y franjas deforestadas, con la posible presencia de roca desnuda; 2) interrupción de las formas naturales del terreno; 3) cambio en las pautas de vegetación; 4) introducción de morfologías lineales; 5) creación de contrastes cromáticos; 6) ruptura de la continuidad visual del paisaje por cambios de escala con los elementos paisajísticos próximos.

La evaluación de este tipo de impacto depende de criterios difícilmente cuantificables, ya que, por ejemplo, la valoración que cada persona hace de la calidad de un paisaje puede ser muy diferente, complicando si cabe todavía más el proceso de evaluación. No obstante, existen parámetros que modifican la percepción de un paisaje o de un objeto y que se pueden considerar estándar; como son la curvatura de la Tierra y la refracción de la luz, la distancia entre el objeto y el punto de observación, la posición del observador, la iluminación y las condiciones atmosféricas. Este conjunto de factores se pueden clasificar por sus principales efectos en dos grandes grupos:

- 1.- Factores que afectan a la percepción de la forma
- 2.- Factores que afectan a la percepción de los colores

El primer tipo de factores se suele incluir en la evaluación cuantitativa del impacto visual, mediante la utilización de geometría plana o espacial, determinando qué superficie del objeto es visible desde un punto dado y en qué medida afecta éste al campo de visión del observador. Estos métodos son relativamente abundantes, requiriendo normalmente mucho tiempo de cálculo en el procesamiento de los datos, que normalmente incluyen la topografía digital y una representación geométrica del objeto a estudiar (Carlson, 1979; Kenzie y McLaren, 1988; Orland, 1992; Lange, 1994; Oh, 1994; Zewe y Koglin, 1995). Los métodos de evaluación del impacto visual debido al segundo tipo de factores, es decir a los que afectan a la percepción de los colores, son mucho menos numerosos (Dunn, 1976; Shafer y Brush, 1977), y generalmente se basan en la realización de tomas fotográficas y en su manipulación digital, presentando los resultados casi siempre de forma cualitativa. A pesar de ello, hay que tener en cuenta que la presencia de una gran superficie del objeto si esta por ejemplo, muy poco contrastada en color con su entorno, genera poco impacto visual. Una misma explotación de roca caliza de colores claros presenta un impacto visual mucho mayor en una zona boscosa verde que si la

misma esta ubicada en una zona desértica. No obstante, al tratarse de la misma explotación, su nivel de impacto visual por métodos geométricos (percepción de la forma) es el mismo, por lo que la valoración del impacto debido al contraste cromático es fundamental como un factor ponderador del impacto visual total.

El método que se presenta en este artículo permite realizar una evaluación cuantitativa del impacto cromático. Se basa en la realización de un análisis de imagen sobre tomas fotográficas, determinando el contraste de color existente entre la explotación y su entorno. Ponderando dicho contraste en función de la sensibilidad del ojo humano a las diferentes longitudes de onda, se obtiene el valor de impacto visual cromático.

La aplicación de fotografías como soporte para la evaluación del impacto visual se ha utilizado desde hace tiempo por varios autores: Shafer y Brush, 1977; Zube, Pitt y Anderson, 1974; Carls, 1974. No obstante, Carlson (1979) señala varios problemas en su utilización:

- Los objetos naturales no están, como las fotografías, enmarcados o limitados.
- El observador del paisaje natural se encuentra en una disposición de ánimo distinta del espectador de una fotografía (generalmente es menos exigente).
- Las fotografías reducen un paisaje tridimensional activo a un conjunto de formas bidimensionales estáticas.

No obstante, varios autores como Huddart (1976), Jackson (1978), Dunn (1976), Coughlin y Goldstein (1970) y Kaplan (1975) consideran que existe una relación directa entre la utilización de fotografías y el paisaje real.

SENSIBILIDAD HUMANA A LA LUZ

El color de un objeto cualquiera es la propiedad que éste tiene de reflejar la luz incidente con una particular intensidad y longitud de onda. Es la propiedad visual más importante de un objeto o superficie determinada. Las cualidades estéticas de un paisaje vienen determinadas por la armoniosa combinación de colores que presenta el mismo.

Del abanico de frecuencias que puede presentar la luz, el ojo humano solamente puede captar el rango comprendido entre los 400 nm y los 700 nm, comúnmente llamado espectro visible. Estas radiaciones de energía son captadas por unas células receptoras situadas en la retina denominadas conos, transforman estas radiaciones en impulsos eléctricos nerviosos; enviados al cerebro. La figura 1 muestra los campos de recepción de los conos para el espectro visible (Küppers, 1992). Se puede observar que mientras el receptor rojo puede ser estimulado mediante las longitudes de onda de 630 nm o mayores, no existe una longitud de onda que estimule únicamente los receptores azules o verdes. No existe relación directa entre los campos de recepción de los colores con la sensación que estos producen, ya que hay colores que producen mayor sensación de color que otros. La figura 2 muestra las diferentes sensibilidades relativas del ojo humano frente al espectro, diferencias de sensibilidad que deben tenerse en cuenta para la evaluación del impacto visual cromático (Küppers, 1992).

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para la valoración del contraste cromático se determinan y cuantifican dos factores: el color y la textura propia de los objetos y el entorno o escenario en que se encuentran éstos.

Una de las características más determinantes del color dentro del paisaje es la relación cromática entre dos objetos contiguos, lo que se denomina contraste visual. El contraste

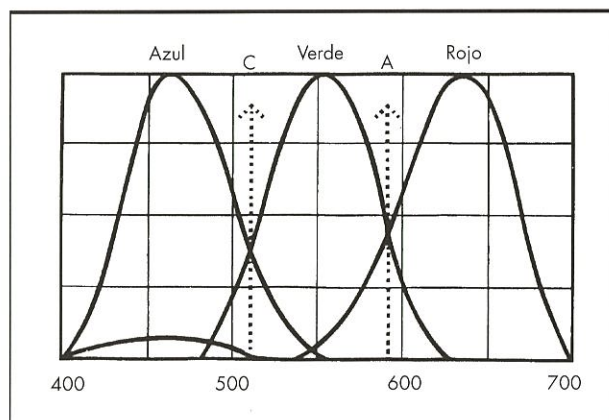


FIGURA 1. Campos de recepción de los conos para el espectro visible.

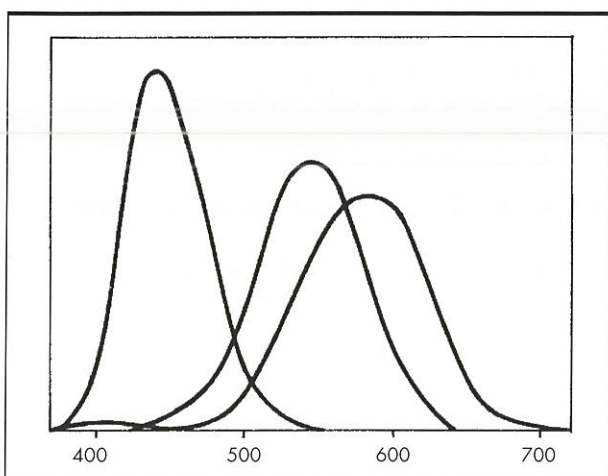


FIGURA 2. Las diferentes sensibilidades relativas del ojo humano frente al espectro visible.

visual se produce ya sea porque los colores son complementarios o porque sus características son opuestas: colores brillantes que contrastan con los mates y claros con oscuros.

El método desarrollado para evaluar el impacto visual cromático sigue un modelo de tratamiento de imagen que comprende las siguientes etapas:

A) TOMA DE LAS IMÁGENES

En primer lugar se realiza una serie de tomas fotográficas de la explotación desde diversos puntos y con distintas visuales respecto a la misma. Dichos puntos se seleccionan, generalmente en función de las actividades que se realizan en la zona, y teniendo en cuenta la frecuentación de los mismos.

La toma de fotografías se realiza con la cámara montada sobre un trípode para evitar desenfoques o movimientos perturbadores.

El tipo de película fotográfica utilizada es fundamental, generalmente para evitar problemas de revelado es mejor utilizar película diapositiva. La utilización para la adquisición de la imagen, de cámaras digitales de alta resolución, permite realizar un procesamiento inicial en campo de las

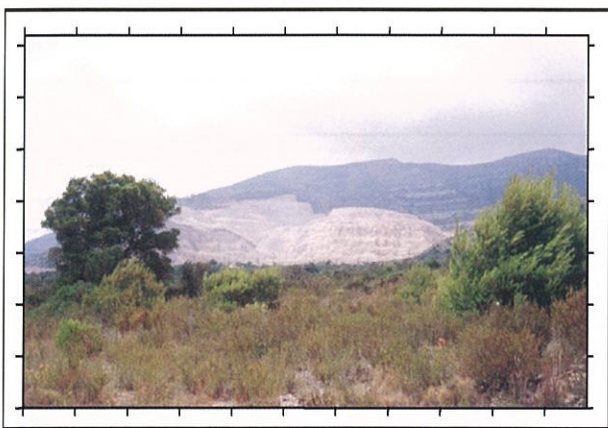


FIGURA 3. Fotografía tomada desde tierra de la cantera La Martínencia (Alcanar, Tarragona), visible parcialmente debido a la ocultación parcial por la vegetación.

imágenes adquiridas, con lo que se pueden repetir las tomas y evitar muchos problemas.

Para un observador humano totalmente estático el campo de visión con imagen nítida es de solo unos 88° en la horizontal y unos 55° en la vertical, lógicamente esta limitación no se produce, ya que un observador aunque esté mirando de frente, mueve los ojos y la cabeza, de forma que la captación del paisaje posee unos márgenes de visión mucho más amplios, dando como resultado, a nivel de sensaciones, la integración de todo este campo visual. En este caso se pueden considerar los valores máximos de 180° en la horizontal y 110° en la vertical. Esto conlleva un problema técnico, ya que habría que utilizar cámaras de formato panorámico. No obstante se pueden utilizar cámaras fotográficas de 35 mm tomando fotografías seriadas que abarquen todo el campo de visión requerido, y realizando la unión digital de las distintas tomas en una sola imagen, a pesar de ello se suele considerar como representativa de la visión de un espectador una imagen apaísada obtenida con una cámara de película de 35 mm y objetivo de 50 mm.

B) PROCESADO PREVIO DE LAS IMÁGENES

Como hemos visto anteriormente el ojo humano presenta diferente sensibilidad relativa respecto a cada color. Teniendo en cuenta esto, y que además las curvas de sensibilidad de las películas fotográficas difieren de las del ojo humano (figura 2), se hace necesario un tratamiento digital de la imagen obtenida, con el fin de adecuarla lo máximo posible a la imagen original vista por el observador en el campo (figura 3). Si tenemos en cuenta además que la imagen fotográfica se digitaliza mediante un escáner y posteriormente se visualiza para su tratamiento en un monitor, y que ambos sistemas poseen curvas propias de sensibilidad, y éstas además son generalmente desconocidas, se hace evidente que no existe un tratamiento automático que permita la equiparación de la imagen digital a la original. Una técnica muy útil es la de obtener la imagen en campo mediante una cámara digital conectada directamente a un ordenador, y realizar un procesamiento en tiempo real e in situ, comprobando visualmente los resultados obtenidos.

C) CÁLCULO DEL VALOR DEL IMPACTO

Una vez obtenida una imagen adecuada, ésta es guardada en forma de archivo de bitmap. El sistema desarrollado por los autores permite calcular el contraste de color entre el color medio de un objeto determinado del paisaje (la explotación) y cada pixel de la imagen externo al área ocupada por dicho objeto. Teniendo en cuenta la sensibilidad del ojo humano frente a las longitudes de onda del espectro visible, se crea en el proceso un archivo de datos tipo "grid" o malla en el que cada pixel externo al objeto analizado tiene un valor de impacto, comprendido entre 0 y 1. Como el cálculo se realiza pixel a pixel los resultados se pueden obtener en forma de una imagen de valoración del impacto visual cromático (figura 4).

El sistema calcula el color medio del entorno que rodea al objeto analizado y proporciona un valor, entre 0 y 1, que corresponde al impacto medio ejercido por el objeto respecto al paisaje o fondo escénico captado por la fotografía, así como el área relativa ocupada por la explotación dentro de la imagen.

La base del método se fundamenta en la utilización del contraste cromático. Lógicamente, este será más acusado en los pixeles colindantes a la explotación que en los pixeles más alejados, por lo que se podría considerar la ponderación de los valores de impacto resultantes en función de este factor en forma de inverso al cuadrado de la distancia. No obstante, hay que tener en cuenta el poder de integración que

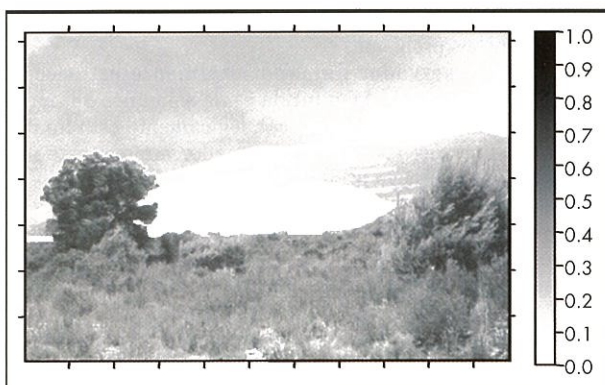


FIGURA 4. Valoración del impacto visual cromático pixel a pixel de la imagen fotográfica de la figura 3 (0 – ausencia de impacto, 1 – máximo impacto).

posee el ojo humano, sobre todo cuando existe un factor de impacto visual. De esta forma zonas alejadas del centro de la visión pero con fuerte contraste intervienen de igual forma en la valoración del impacto global.

D) ETAPAS DEL PROCESADO

El procesado para la obtención de la matriz o imagen de impacto comprende una serie de etapas:

- 1.- Elección de un color neutro (un color neutro es cualquier color que no existe en la imagen a procesar).
- 2.- Obtención de un archivo de imagen (imagen1) compuesto por la selección del área ocupada por la explotación; el resto es rellenando con el color neutro.
- 3.- Obtención de un archivo de imagen (imagen 2) con la parte ocupada por la explotación y rellenado el hueco con el color neutro.
- 4.- Cálculo automático del color RGB (Rojo, Verde y Azul) medio de la imagen 1 (sin color neutro), denominado color medio de la cantera.
- 5.- Cálculo automático del valor de impacto para cada pixel (sin color neutro) hallando el contraste de color RGB entre dicho pixel y el color medio de la explotación. Dicho contraste es ponderado en función de las curvas de sensibilidad del ojo humano a los colores y se obtiene un resultado entre 0 (ausencia de impacto) y 1 (impacto máximo).

6.- Cálculo del impacto mínimo, medio y máximo; y obtención del valor del área relativa ocupada por la explotación dentro de la imagen.

7.- Escritura de los resultados de impacto en un archivo en formato matricial y una serie de cálculos estadísticos en un archivo de texto.

E) PROCESADO DE LA IMAGEN DE VALORACIÓN DEL IMPACTO CROMÁTICO

Como la matriz de impacto se obtiene pixel a pixel a partir de la imagen inicial, esta matriz puede ser visualizada también en forma de imagen (figura 4), y por tanto puede asimismo ser reprocesada.

Los sistemas de procesado de la imagen de valoración del impacto que se han desarrollado son:

- 1.- Obtención del histograma del impacto (figura 5).
- 2.- Delimitación automática de las áreas de impacto de la imagen mediante el cálculo del gradiente horizontal.
- 3.- Cálculo de la rosa de direcciones del impacto.

HISTOGRAMA DEL IMPACTO

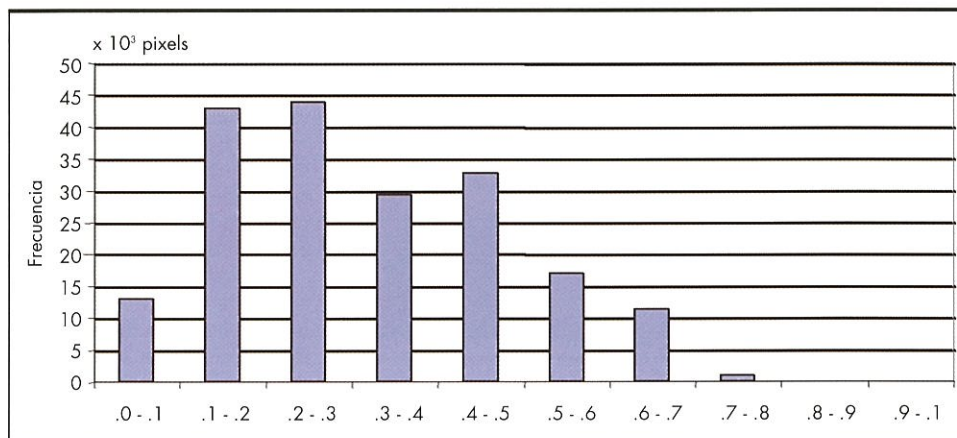
El histograma de la imagen de impacto (figura 5) determina la frecuencia de intervalos de valores de impacto. También se puede realizar un análisis univariante, aunque debe tenerse en cuenta que una imagen de 450 x 500 píxeles produce un total de 225.000 valores de muestra o datos; por lo que los tiempos de cálculo pueden ser muy elevados, sobre todo en cálculos como la mediana o el histograma de medias acumuladas.

GRADIENTE HORIZONTAL

Para determinar el gradiente horizontal se ha trabajado pixel a pixel mediante el cálculo de la suma vectorial de los vectores con origen en dicho pixel y final en los píxeles del alrededor. El módulo del vector varía en función del gradiente o diferencia de valor de impacto entre ambos píxeles. El gradiente horizontal calculado por este método presenta dos resultados; por un lado el valor del gradiente como el módulo del vector suma y por otro la dirección de este gradiente como el ángulo del vector referido al norte. Como veremos más adelante, estos ángulos se pueden utilizar para calcular la rosa de direcciones, y a partir de ésta, un índice de dispersión del impacto.

El gradiente horizontal expresa valores máximos en las zonas limítrofes entre píxeles de valores de impacto muy diferentes, marcando de esta manera las zonas o unidades de impacto dentro de la imagen, que suelen coincidir con las

FIGURA 5. Histograma de la distribución de los valores de impacto obtenido de la valoración del impacto visual (figura 4).



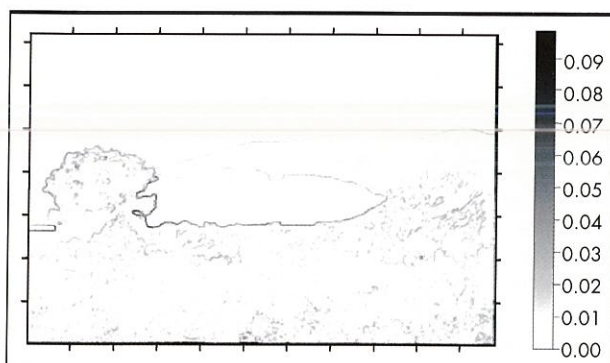


FIGURA 6. Gradiente horizontal de la valoración del impacto visual (figura 4).

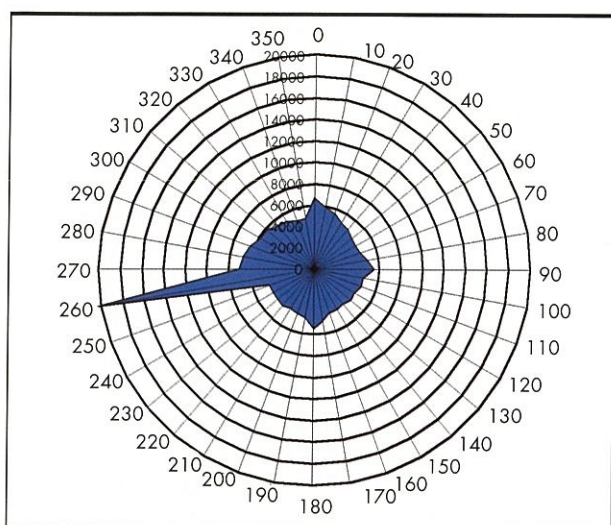


FIGURA 7. Rosa de direcciones del gradiente horizontal de la figura 6, se aprecia la existencia de una área lateral a la explotación que da como resultado un fuerte gradiente.

unidades paisajísticas de la imagen, tal como se puede observar en la figura 6.

ROSA DE DIRECCIONES DEL GRADIENTE

La rosa de frecuencias de las direcciones del vector gradiente muestra el grado de variación o dispersión de este gradiente en el plano. Una rosa en la que los máximos de frecuencia se concentran en los polos cardinales indica una escasa dispersión del gradiente. Una rosa con valores de frecuencia homogéneos, lo que le proporciona cierta forma circular, indica valores altos del grado de dispersión del gradiente, o lo que es lo mismo el mismo del impacto.

La presencia de una área lateral a la explotación y de fuerte gradiente se muestra de forma clara en la rosa de direcciones de la figura 7, al contrario de lo que se puede observar en las figuras 8 y 9.

EJEMPLO DE APLICACIÓN

CANTERA LA MARTINENCA, CASES D'ALCANAR (ESPAÑA)

La explotación a cielo abierto "Martinenca" se encuentra situada en el seno del Massís del Montsià, cerca de la localidad de Les Cases d'Alcanar (Tarragona, España). En la zona

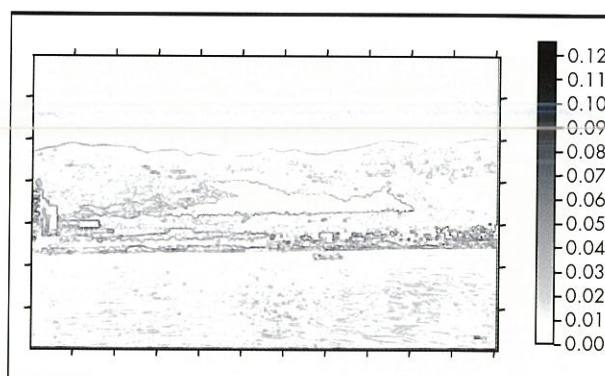


FIGURA 8. Gradiente horizontal de la valoración del impacto visual de otra imagen fotográfica de la cantera La Martinenca tomada desde el mar y perpendicularmente al frente NE de la misma.

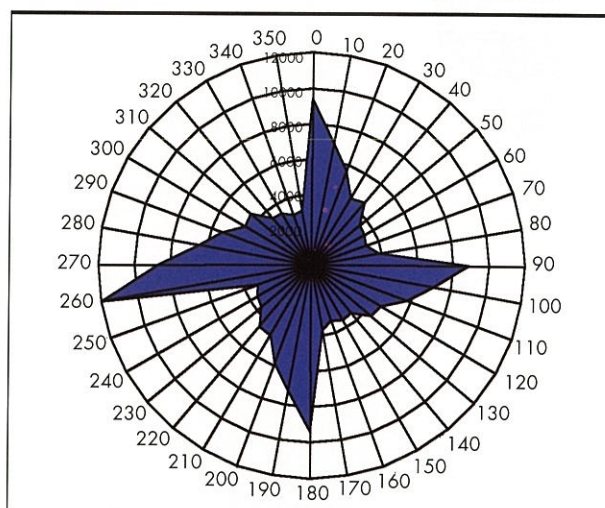


FIGURA 9. Rosa de direcciones del gradiente horizontal de la figura 8, se aprecia la tendencia a una mayor redondez respecto a la figura 7.

próxima a la cantera esta situada una de las mayores fábricas de cemento de España, perteneciente a la empresa Valenciana de Cementos (grupo CEMEX).

La cantera está abierta en materiales carbonatados del Cretácico (Barremiense), cuya litología dominante, en más de un 95% de la superficie aflorante, es una serie mudstone - packstone; en una proporción inferior al 5% aparecen, en afloramientos relativamente pequeños y dispersos, otras litologías constituidas por margas y niveles de mudstones. La cantera colinda con un espacio de reserva natural en donde la vegetación predominante está constituida por una maquia litoral de lentisco y palmito, junto con áreas de encinar-garriga (Blanché et al., 1999). La cantera, además, está situada en una zona turística con playas de elevada calidad en las cercanías.

Dado el elevado contraste cromático entre la cantera (colores ocre y amarillos) y su entorno (verde y azul), se creyó conveniente aplicar la metodología descrita en el presente artículo a la evaluación de su impacto cromático, para ello se realizaron un total de 35 tomas fotográficas, tanto desde tierra como desde el mar, con una cámara Canon EOS 650, y película diapositiva FUJI Velvia (figuras 3-10). Las imágenes fueron escaneadas con un escáner de diapositivas CanoScan 2700F.

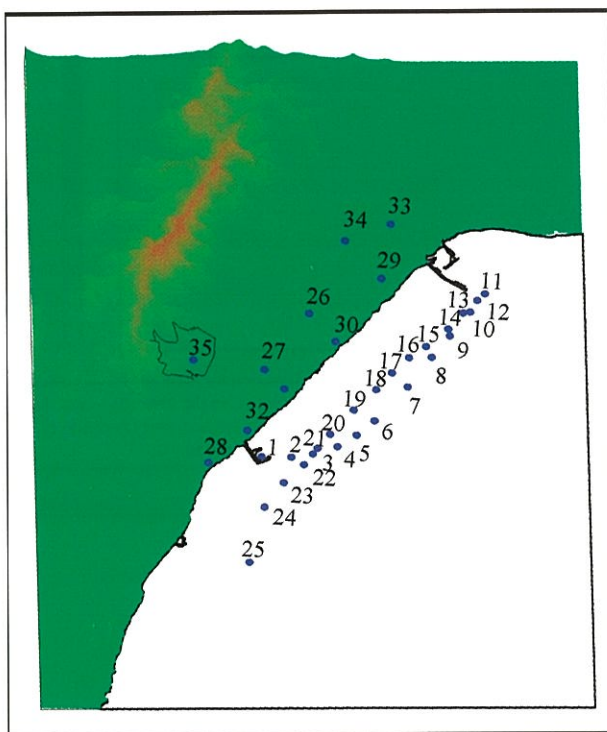


FIGURA 10. Mapa de situación de las tomas fotográficas realizadas, tanto en tierra como en mar (en contorno los límites de la cantera La Martinenca).

CONCLUSIONES

La metodología desarrollada para evaluar el impacto visual cromático, permite calcular a partir del tratamiento de imágenes fotográficas, y de forma automática y objetiva, el contraste de color entre el color medio de un objeto determinado del paisaje (por ejemplo una cantera) y cada pixel de la imagen externo al área ocupada por dicho objeto.

Este sistema calcula además, el color medio del entorno que rodea al objeto analizado y proporciona un valor, entre 0 y 1, que corresponde al valor del impacto medio ejercido por el objeto respecto al paisaje o fondo escénico captado por la fotografía y teniendo en cuenta las características de visión de los colores de la vista humana.

La matriz de impacto obtenida a partir de la imagen inicial, puede ser visualizada también en forma de imagen, y además también puede ser reprocesada.

A partir del tratamiento de estos datos se pueden obtener, nuevos procedimientos de valoración del impacto visual, tales como: histogramas de impacto, gradiente horizontal de impacto, delimitación de las áreas de mayor o menor impacto y direcciones de impacto. Procedimientos éstos que permiten una mejor interpretación y cuantificación del impacto visual.

Es por ello, que la utilización de metodologías de análisis de imagen aplicadas a la evaluación del impacto visual – paisajístico de las explotaciones a cielo abierto representan una inestimable ayuda tanto en la planificación de los trabajos previos, como en la apreciación de los resultados de la propia explotación. Además, también constituyen un instrumento muy útil en los trabajos de restauración de canteras, ya que permiten delimitar las zonas más sensibles al impacto y por tanto, donde se deben intensificar los trabajos de restauración.

En este sentido, esta metodología permite el seguimiento temporal continuado del proceso de rehabilitación de los espacios alterados por la actividad de extracción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Dr. A. Casas por la atenta lectura del manuscrito y por las modificaciones y mejoras sugeridas. Y a la empresa Valenciana de Cementos (Alcanar, Tarragona) del grupo Cemex por toda la ayuda prestada y en especial al director de la planta Javier Vicent.

BIBLIOGRAFÍA

- BLANCHÉ, C.; FONT, X.; MOLERO, J.; MUZAS, N.; NAVARRO, O.; PINTO, V.; SALGOT, M. and TAPIAS, J.C. (1999). *Propuesta de restauración de la zona de extracción de la cementera de Les Cases d'Alcanar (Tarragona)*. Informe interno CEMEX – Valenciana de Cementos. 450 p.
- CARLS, E.G. (1974). The effects of people and man-induced conditions on preferences for outdoor recreation landscapes. *Journal of Leisure Research*, 6 (2): 113-124.
- CARLSON, A.A. (1979). On the possibility of quantifying Scenic Beauty. *Landscape Planning*, 4: 131-172.
- COUGHLIN, R.E. y GOLDSTEIN, A. (1970). *The extent of agreement among observers on Environmental attractiveness*. Regional Science Research Institute. Paper 37. Philadelphia.
- DUNN, M.C. (1976). Landscape with photographs: Testing the Preference Approach to Landscape Evaluation. *Journal of Environmental Management*, 4: 15-26.
- HUDDART, L. (1976). *Visual intrusion of roads. A case study in the Lake District*. Transport and Road Research Laboratory. Rep. SR 186 VC. Department of Environment. Londres.
- JACKSON, R.H. et al (1978). Assessment of environmental impact of high voltage Power Transmission Lines. *Journal of Environmental Management*, 6: 153-170.
- KAPLAN, S. (1975). An informal model for the Prediction of Preference. In: Zube et al (Eds.): 92-102.
- KENNIE, T.J.M. y MCLAREN, R.A. (1988). Modeling for digital terrain and landscape visualisation. *Photogrammetric Record*, 12: 711-745.
- KÜPPERS, H. (1992). *Fundamentos de la teoría de los colores*. Ed. Gustavo Gili SA. Mexico D.F. 204 p.
- LANGE, E. (1994). Integration of computerized visual simulation and visual assessment in environmental planning. *Landscape and Urban Planning*, 30: 99 – 112.
- OH, K. (1994). A perceptual evaluation of computer-based landscape simulations. *Landscape and Urban Planning*, 28: 201-216.
- ORLAND, B. (1992). Data visualization techniques in Environmental Management. *Landscape and Urban Planning*, 21: 237 – 244.
- SHAFFER, E.L. y BRUSH, R.O. (1977). How to measure preferences for photographs of natural landscapes. *Landscape Planning*, 4: 237-256
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. (1992). *Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia*. U.S. Geological Survey Bulletin, 1975. Denver. 365 p.
- ZEWE, R. y KOGLIN, H.J. (1995). A method for the visual assessment of overhead lines. *Computers and Graphics*, 19: 97-108.
- ZUBE, PITT y ANDERSON. (1974). *Perception and measurement of scenic resources in the Southern Connecticut River Valley*. Inst. for Man and his Environment. Pub. R-74-1. Massachusset.