

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES EN EL ÁMBITO DEL ARTE RUPESTRE

PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS OF MULTISPECTRAL IMAGES APPLIED IN ROCK ART FIELD

Berta Carrión-Ruiz*, José Luis Lerma

Photogrammetry & Laser Scanning Research Group (GIFLE), Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry, Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, Spain. bercarru@doctor.upv.es; jllerma@cqf.upv.es

Abstract:

This paper tackles principal component analysis (PCA) in images that include wavelengths between 380-1000 nm. Our approach is focussed on taking advantage of the potencial of ultraviolet and infrared images, in combination with the visible ones, to improve documentation process and rock art analysis. In this way, we want to improve the discrimination between pigment and support rock, and analyse the spectral behaviour of rock art paintings in the ultraviolet and infrared regions. Three images were used, one image from the ultraviolet (UV) region, one from the visible region (VIS) and another one from the near infrared region (NIR). Optical filters coupled to the camera optics were used to take the images. These filters capture specific wavelengths excluding radiation that we are not interested in registering. Finally, PCA is applied to the acquired images. The results obtained demonstrate the PCA usefulness with imagery in this field and also it is possible to extract some conclusions about the correspondent paint pigments.

Key words: Documentation, Rock Art, Decorrelation techniques, Digital image analysis, Cultural Heritage, PCA, Multispectral image

Resumen:

Este artículo aborda el análisis de componentes principales (ACP) en imágenes de longitudes de onda entre 380-1000 nm. Nuestro enfoque se centra en aprovechar el potencial que las imágenes ultravioletas e infrarrojas ofrecen, en combinación de las visibles, para mejorar la documentación y el análisis de las pinturas rupestres. De este modo, se pretende mejorar el proceso de discriminación entre pigmento y roca soporte, y analizar el comportamiento espectral de las pinturas rupestres en las regiones del ultravioleta e infrarrojo. Para el estudio, se han empleado tres imágenes, una de la región del ultravioleta (UV), una de la región del visible (VIS) y otra de la región del infrarrojo cercano (NIR). Las imágenes se tomaron con filtros acoplados a la óptica de la cámara. Estos filtros captan un rango de longitud de onda y excluyen la radiación que no interesa registrar. Por último, se realiza ACP a las imágenes tomadas. Los resultados obtenidos demuestran la utilidad del ACP en imágenes de este ámbito y también se pueden extraer algunas conclusiones sobre los pigmentos que constituyen la pintura.

Palabras clave: Documentación, Arte Rupestre, Técnicas de descorrelación, Análisis de imagen, Patrimonio cultural, ACP, Imagen multiespectral.

1. Introducción

La única radiación que puede percibir el ojo humano es la luz visible, pero esta es solo una pequeña porción del espectro electromagnético (400-700 nm). Sin embargo, algunas cámaras fotográficas específicas, son capaces de captar radiación de diferentes longitudes de onda. Actualmente, gracias al avance de las cámaras digitales, el empleo de estas imágenes para el estudio del arte rupestre está establecido como técnica esencial, que permite a los arqueólogos la extracción de calcos de las figuras, de manera no invasiva.

Un ejemplo sería el estudio realizado por Brady and Gunn (2012) se realiza un realce fotográfico en las imágenes, para realzar figuras muy deterioradas y figuras superpuestas. Otros autores mejoran el contraste en áreas específicas, mejoran los bordes de las figuras y realizan superposiciones de imágenes (Clogg *et al.* 2000). Por otro lado, en el estudio

publicado por Mark and Billo (2006), se estudia la generación de imágenes panorámicas y se desarrollan técnicas de realce de la imagen, mediante el empleo de filtros y modificaciones de los histogramas.

Al añadir un procesado a estas imágenes y aplicar técnicas de análisis multivariante, se pueden obtener datos cuantitativos que nos proporcionen información sobre multitud de aspectos de la imagen, como, por ejemplo, la variabilidad y la distribución de los pigmentos.

Una de las técnicas más populares en el análisis de imágenes es el Análisis de Componentes Principales (ACP). El ACP resulta una técnica muy útil cuando lo que se pretende eliminar la correlación entre los niveles digitales de la imagen digital. Mediante el ACP, se destacan las diferencias entre las bandas de la imagen.

Cuando las imágenes de entrada son bandas de radiación reflejada en la región visible del espectro, el

* Corresponding Author: Berta Carrión-Ruiz, bercarru@doctor.upv.es

empleo del ACP resulta especialmente útil, ya que las bandas de entrada se encuentran muy correlacionadas y es necesario el empleo de algoritmos que reduzcan los datos redundantes.

En el ámbito del arte rupestre este tipo de análisis de la imagen se aplica en la mayoría de los casos, a la mejora del proceso de identificación de motivos (Cerrillo-Cuenca and Sepúlveda 2015; Le Quellec *et al.* 2015; Mark and Billo 2002; Rogerio-Candeleira *et al.* 2011). Además, se ha comprobado que estas técnicas de eliminar la correlación de la imagen automatizan parte del proceso de extracción de calcos, mejorándolo y acelerándolo (Carrión-Ruiz *et al.* 2016; Domingo *et al.* 2015).

En la documentación del arte rupestre, generalmente se aplica el ACP a imágenes de la región visible del espectro. Creemos interesante, ampliar las regiones espectrales de estudio para, de esta forma, aprovechar su potencial, tal y como se hace en otros campos como en la medicina o en la teledetección.

En el campo de la conservación del arte, tanto las imágenes de la región ultravioleta (UV), como las de la región del infrarrojo cercano (NIR), resultan muy útiles. La región infrarroja se utiliza para detectar repintes o tintas no visibles a simple vista (Degrigny *et al.* 2016; Hedjam and Cheriet 2013; Legnaioli *et al.* 2013). Por otro lado, numerosos pigmentos empleados en arte sobre lienzo resultan fluorescentes a la luz ultravioleta (Cosentino 2014), por lo que el estudio de la repuesta espectral de los pigmentos en esta región resulta muy interesante.

Este estudio investiga las posibilidades del ACP, aplicado en imágenes multiespectrales que abarcan longitudes de onda desde los 380 nm hasta los 1000 nm aproximadamente. Nuestro enfoque pretende aprovechar al máximo el potencial de las imágenes UV y NIR para de esta forma, lograr una mejor documentación y análisis de las pinturas rupestres del Arco Levantino, un bien cultural altamente deteriorado (UNESCO 2017). Además, se pretende aportar información en cuanto a la reflectancia de los pigmentos y su comportamiento espectral para de esta manera enriquecer la documentación y avanzar en la investigación de nuevas técnicas de documentación no invasivas.

2. Instrumental utilizado

2.1. Cámara

Los sensores de imagen pasivos que podemos encontrar en las cámaras digitales las hacen dispositivos capaces de registrar la radiación reflejada de una escena.

Generalmente cualquier cámara del mercado, tanto las cámaras profesionales como las indicadas para el público general, tienen un filtro que bloquea la radiación IR y/o UV delante del sensor.

Debido a esto, para la toma de imágenes de diferentes intervalos del espectro electromagnético se ha empleado una cámara que no tiene ningún tipo de filtro de bloqueo acoplado al sensor. La cámara empleada es el modelo IS Pro de la marca Fujifilm (FUJIFILM

2017). Esta cámara es específica para la realización de fotografía médica y científica, su sensor CCD tiene una sensibilidad desde los 380 nm hasta los 1000 nm aproximadamente. Debido al rango espectral que abarca, es posible obtener imágenes de regiones del espectro no visibles para el ojo humano tanto en la región del UV, como en la región del NIR.

2.2. Óptica

El empleo de una óptica adecuada es indispensable para obtener fotografías de buena calidad en cualquier región del espectro, pero, al realizar fotografía UV, la óptica utilizada es especialmente importante. En este caso acoplamos un objetivo de cuarzo, modelo Coastal Optical UV-VIS-IR Apo Macro de 60 mm.

2.3. Filtros externos

El uso de filtros externos es una solución económica para fotografiar intervalos específicos de longitudes de onda. Dentro del intervalo que registra la cámara (380-1000 nm) podemos discriminar intervalos de longitud de onda más cortos al acoplar filtros a la lente. Con este objetivo se han empleado cuatro filtros diferentes de la marca Midwest Optical Systems:

- El filtro BP-365 está diseñado para bloquear la radiación de la región del visible y deja pasar la radiación ultravioleta desde los 335 nm hasta los 400 nm (Fig. 1). Sin embargo, este filtro también capta radiación infrarroja a partir de los 830 nm. Por tanto, para obtener imágenes que únicamente muestren la radiación ultravioleta reflejada es necesario aplicar otro filtro que bloquee la componente de radiación infrarroja.
- El filtro SP-730 bloquea la radiación infrarroja a partir de los 710 nm aproximadamente (Fig. 2).
- El filtro BP-550 tiene un paso de banda amplio, entre los 410 y los 690 nm aproximadamente (Fig. 3). Este filtro solo capta luz de la región del visible.
- El filtro LP-1000, capta la radiación infrarroja transmitida desde los 860 nm hasta los 1500 nm aproximadamente (Fig. 4).

Por tanto, las imágenes del UV, se obtienen mediante la combinación del filtro BP-365 y el filtro SP-730, para de esta forma, bloquear la componente infrarroja que tiene el filtro BP-365. Por otro lado, las imágenes del NIR se obtienen aplicando el filtro LP-1000 al objetivo de nuestra cámara. Por último, las imágenes del VIS se realizan con el filtro BP-550.

3. Caso de estudio: La cova dels Cavalls

La toma de datos in situ en el ámbito del arte rupestre siempre es una tarea complicada que exige una planificación exhaustiva. Este tipo de bienes culturales normalmente se encuentran localizados en zonas de difícil acceso y expuestas a agentes de erosión y deterioro. Esto hace que sea urgente y necesaria la documentación y análisis de este tipo de bienes mediante técnicas no invasivas, que permitan estudiar en profundidad la problemática que en ellos se encuentra.

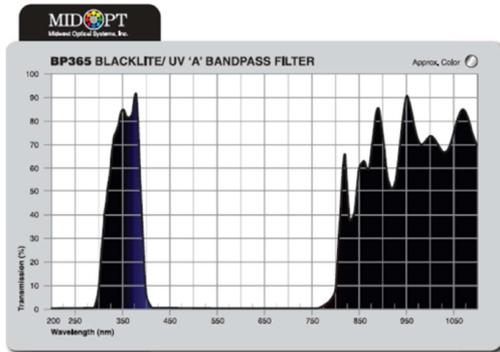


Figura 1: Porcentaje de trasmisión del filtro BP-365 en diferentes longitudes de onda (<http://midopt.com/filters/>).

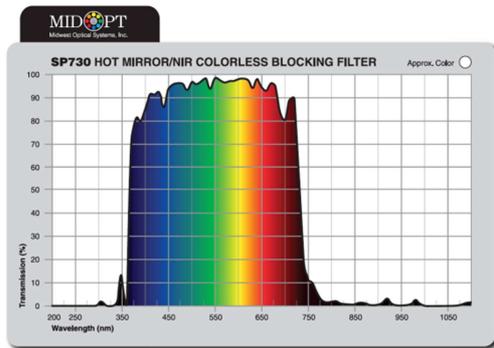


Figura 2: Porcentaje de trasmisión del filtro SP-730 en diferentes longitudes de onda (<http://midopt.com/filters/>).

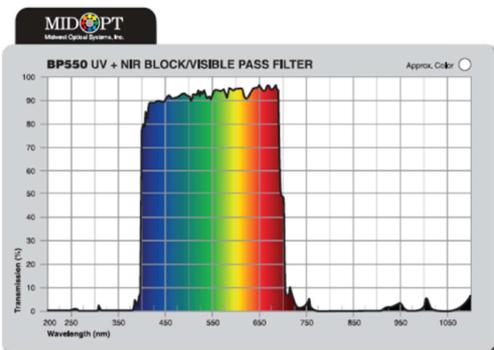


Figura 3: Porcentaje de trasmisión del filtro BP-550 en diferentes longitudes de onda (<http://midopt.com/filters/>).

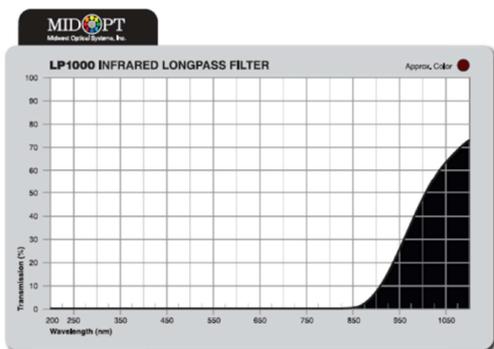


Figura 4: Porcentaje de trasmisión del filtro LP-1000 en diferentes longitudes de onda (<http://midopt.com/filters/>).

En este estudio se pretende la documentación y análisis de los motivos que se encuentran en La Cova dels Cavalls. La Cova dels Cavalls se emplaza en uno de los márgenes del Barranc de la Valltorta (Fig. 5) en la provincia de Castellón (España).



Figura 5: Contexto de La Cova dels Cavalls

La cueva está compuesta por dos abrigos, en el abrigo II, orientado al noreste, se sitúa el motivo que se va a analizar (Fig. 6). Actualmente, la mayoría de los motivos, se encuentran deteriorados y es difícil su reconocimiento in situ.

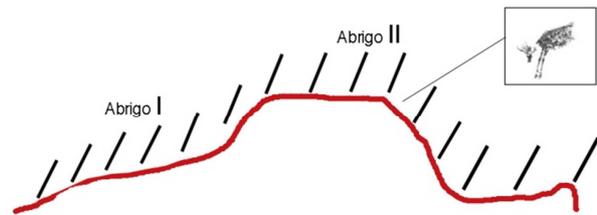


Figura 6: Ubicación en planta de la figura de estudio de La Cova dels Cavalls (adaptación a partir de Martínez and Villaverde 2002)

Estos motivos de arte rupestre se han estudiado y documentado desde un punto de vista arqueológico (Martínez and Villaverde 2002).

3.1. Toma de imágenes *in situ*

Se han adquirido imágenes en tres bandas espectrales, UV (380-400 nm), VIS (410-690 nm) y NIR (860-1000 nm). En la adquisición de estos tres tipos de imágenes, la focal, el número ISO, la posición de la toma y el encuadre se mantuvieron constantes, en cambio, la combinación de filtros aplicados y los parámetros de exposición y apertura del diafragma variaron en función de las necesidades de la cámara en cada disparo (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de la cámara en cada una de las imágenes

	UV	VIS	NIR
Filtro	BP-365+SP-730	BP-550	BP-1000
Focal (mm)	60	60	60
ISO	100	100	100
Abertura (f)	11	11	11
Exposición (s)	1/5	1/20	1

El formato empleado ha sido el RAF, que es el formato propio del fabricante Fujifilm para el almacén de los datos crudos (RAW). De acuerdo con Verhoeven and Schmitt (2010) la profundidad del color es mayor en las imágenes RAW y ofrece la posibilidad de corregir algunos parámetros de la toma, como por ejemplo la exposición.

3.2. Análisis de la imagen digital

Las imágenes obtenidas contienen la información dividida en tres canales, Rojo (R), Verde (G) y Azul (B). En el caso de las imágenes ultravioletas el canal que contiene la información útil es el canal B; en los otros dos canales la mayoría de sus píxeles están en negro (Fig. 7).

Por otro lado, en las imágenes infrarrojas, sus tres canales son similares entre ellos. Por tanto, podemos escoger cualquiera de los tres canales, ya que la información que contienen es prácticamente la misma (Fig. 8).

Sin embargo, las imágenes de la región del visible contienen información válida en cada uno de sus canales (Fig. 9).

Por tanto, en los posteriores análisis se han empleado:

- El canal B de imagen UV (UV-B).
- El canal R de la imagen NIR (NIR-R).
- Los canales R, G y B de la imagen VIS (VIS-R, VIS-G, VIS-B).

3.2.1. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Una de las técnicas más comunes de análisis de imagen es el ACP. Esta técnica se engloba dentro del análisis estadístico multivariante y nos permite la reasignación de los niveles digitales de la imagen (ND), cambiando el sistema de referencia y eliminando la correlación de los datos de entrada.

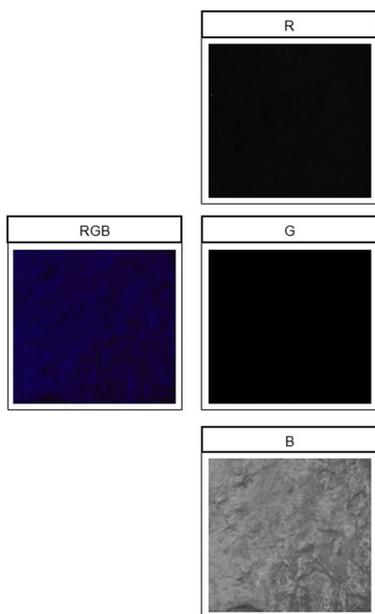


Figura 7: Canales R, G y B de la imagen UV.

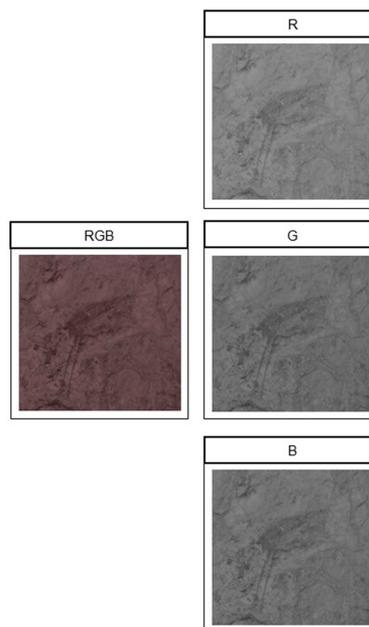


Figura 8: Canales R, G y B de la imagen NIR.

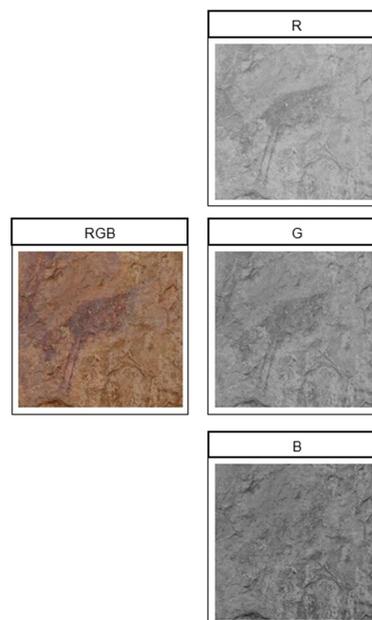


Figura 9: Canales R, G y B de la imagen VIS.

Como resultado de este análisis se obtiene un grupo de nuevas imágenes llamadas Componentes Principales (CP). El número de CP dependerá del número de imágenes de entrada. En este caso, se parte de cinco imágenes de entrada y se obtienen cinco CP tras el análisis, tal y como se puede comprobar en la Figura 10.

En estos cinco componentes, la información que contenían las cinco imágenes de entrada está reordenada de manera diferente. Algunos autores (Cerrillo-Cuenca and Sepúlveda, 2015; Rogerio-Candelera 2013) comentan en sus estudios la importancia de los últimos componentes ya que suelen contener información residual importante. Además, en algunos casos es posible detectar elementos, que, en las imágenes previas al análisis, son invisibles.

Al analizar el porcentaje de varianza en la Tabla 2, observamos que el CP 1 contiene un 71% de información aproximadamente. Cuando visualizamos la imagen del CP 1 observamos que esta imagen no aporta información relevante (Fig. 11); la figura no está realzada y las sombras de la roca no desaparecen.

Tabla 2. Porcentajes de varianza y varianza acumulada.

	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
CP 1	71,43	71,43
CP 2	13,70	85,14
CP 3	13,26	98,40
CP 4	1,24	99,64
CP 5	0,36	100,00

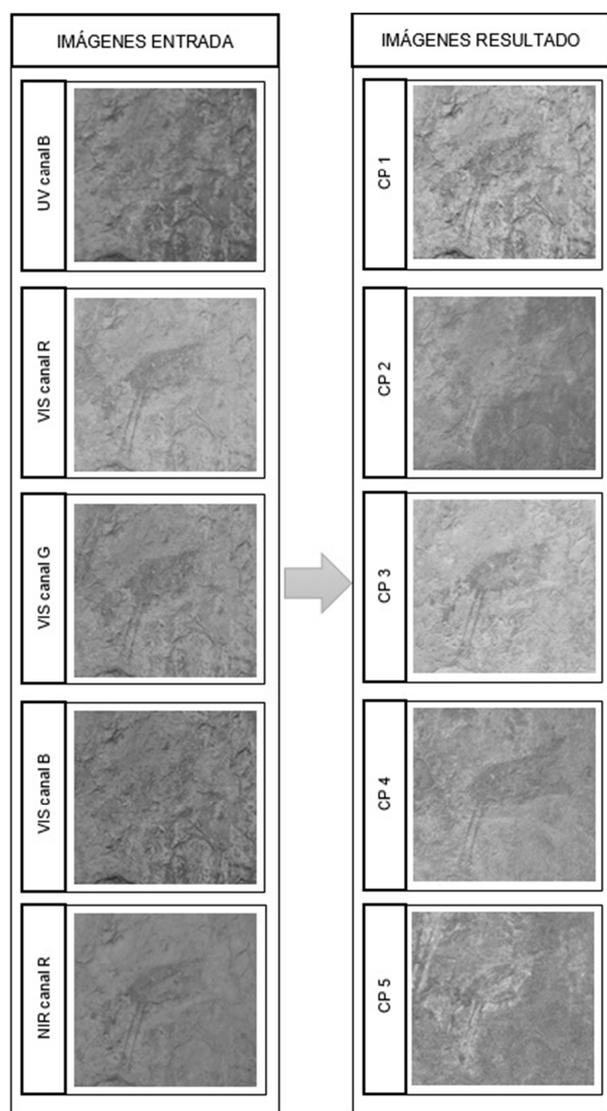


Figura 10: Imágenes de entrada y salida en ACP.

El CP 2 y CP 3, contienen cada uno un 13 % de la información aproximadamente. En el CP 2, la figura desaparece dejando únicamente un rastro blanquecino y se enfatizan los pliegues y surcos de la roca. Por otro lado, al analizar visualmente la imagen resultante del

CP3 (Fig. 12), se observa que el contorno de la figura se encuentra muy detallado en ella.

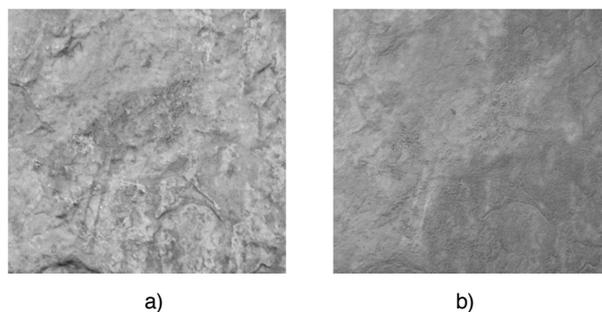


Figura 11: Componentes principales: a) CP 1, b) CP 2.



Figura 12: CP 3.

Los CP 4 y 5 observamos que contienen la información residual ya que tienen porcentajes de varianza muy bajos (Tabla 2). Estos dos últimos componentes son los que ofrecen información más relevante. Si observamos el CP 4 (Fig. 13), los trazos del cuerpo y las extremidades delanteras del animal aparecen realzados en gris oscuro, aunque la parte trasera del animal se encuentra bastante difuminada. También, la cabeza se difumina y se hace transparente llegando a ser casi imperceptible. Por último, el CP 5 (Fig. 14) realza en color gris claro un halo alrededor de la figura.

4. Discusión

El análisis detallado de los componentes principales obtenidos no resulta determinante, ya que no es posible afirmar que existen pigmentos diferentes. En teoría, toda la figura ha sido ejecutada con pigmentos de color rojo, aunque sí que se observan cambios en la concentración del pigmento. A consecuencia de estos cambios de concentración, se observan varios tomos de rojo diferentes. Por un lado, un color rojo oscuro, con un trazo muy definido en todo el contorno de la figura, especialmente en las extremidades y delimitando el lomo. Por otro lado, también hay áreas con un rojo más claro alrededor de toda la figura, algunas zonas del relleno del cuerpo y la cabeza del animal.



Figura 13: CP 4.



Figura 14: CP 5.

El primer componente, no ayuda a la discriminación del pigmento de la roca soporte, ya que la figura no se realza, las sombras de la roca no desaparecen y tampoco revela una diferenciación de pigmentos.

El CP 2 y el CP 3, sí pueden resultar útiles en relación a la discriminación entre pigmento y roca soporte. El primero (CP 2), únicamente contiene información del soporte, y el segundo (CP 3), realza la capa de pigmento permitiendo su delimitación de manera más cómoda y rápida.

En cuanto al comportamiento de la luz reflejada es posible extraer conclusiones en cuanto a la composición química del pigmento, los últimos dos componentes son los que proporcionan información más valiosa al respecto. La parte de la cabeza del animal desaparece en el CP 4, quedando únicamente la parte del cuerpo y extremidades. Esta separación puede deberse a una

densidad diferente de la capa pigmento en esa zona. Esto puede ser debido a que el dibujo de la figura se ha realizado en tiempos diferentes, o a diferencias de grosor en la capa de pigmento durante la ejecución. Por otro lado, el último componente realza zonas alrededor de la figura formando un halo. Estas áreas, podrían corresponderse con zonas que han sido recientemente restauradas.

Por tanto, en este caso, sería necesario contrastar estas conclusiones mediante otras técnicas, que, aunque más invasivas, determinarían la composición química de las zonas en las que se observan anomalías o se presentan como potenciales zona de estudio. Por tanto, el ACP sí que resulta útil como primera aproximación al estudio de una figura, es decir, como trabajo previo al empleo eventual (no siempre requerido ni recomendable) de técnicas más invasivas, una vez detectadas las partes más susceptibles de estudio de una figura.

Por último, merece la pena comentar las ventajas del empleo de imágenes de diferentes ventanas espectrales. En este estudio, en la imagen UV-B desaparece el pigmento y se acentúan los pliegues e irregularidades de la roca, por lo que esta imagen puede resultar útil para discriminar el pigmento de la roca soporte. También la imagen NIR-R presenta ventajas al agregarla al ACP. Muestra realizadas las partes de la figura con pigmento de color rojo oscuro. Sin embargo, las zonas con pigmento de color rojo claro se hacen transparentes. Esto refleja un comportamiento espectral diferente entre estos dos colores.

5. Conclusión

Este artículo analiza las ventajas del empleo de imágenes multiespectrales y de las técnicas de análisis de imagen digital, de modo que el proceso de discriminación entre el pigmento y la roca soporte sea más rápido y objetivo.

Además, atendiendo al comportamiento espectral de los motivos que se encuentren en la escena y la roca que los soporta, es posible enriquecer el estudio de una figura o incluso ampliar el ámbito de estudio e interpretar los resultados de una escena completa o incluso todas las figuras que se encuentren en un mismo abrigo.

Como se constata en este estudio, la aplicación del ACP no causa ninguna pérdida de información, al contrario, aporta una nueva visión de los datos originales. Si además se añade información de diferentes bandas del espectro, se añade también información de cómo se comportan los elementos fotografiados, en este caso, los pigmentos y la roca soporte. Por ello, sería interesante establecer una respuesta espectral frente a la cámara, de cada tipo de pigmento empleado en este tipo de arte, para cada banda espectral registrada.

Por último, sería conveniente profundizar en el estudio de otras técnicas de análisis multivariante y ampliar el ámbito de estudio a toda la escena.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad al Proyecto HAR2014-59873-R.

References

- BRADY, L.M. and GUNN, R.G., 2012. Digital Enhancement of Deteriorated and Superimposed Pigment Art. *Rock Art in the Digital Age*, pp. 627–643.
- CARRIÓN-RUIZ, B., BLANCO-PONS, S. and LERMA, J.L., 2016. Digital image analysis of the visible region through simulation of rock art paintings. *Proc. 8th Int. Congr. Archaeol. Comput. Graph. Cult. Herit. Innov. "ARQUEOLÓGICA 2.0"*, pp. 169–175. DOI: 10.4995/arqueologica8.2016.3560.
- CERRILLO-CUENCA, E. and SEPÚLVEDA, M., 2015. An assessment of methods for the digital enhancement of rock paintings: The rock art from the precordillera of Arica (Chile) as a case study. *J. Archaeol. Sci.*, **55**, pp. 197–208. DOI: 10.1016/j.jas.2015.01.006.
- CLOGG, P., DÍAZ-ANDREU, M. and LARKMAN, B., 2000. Digital Image Processing and the Recording of Rock Art. *J. Archaeol. Sci.*, **27**, pp. 837–843. DOI: 10.1006/jasc.1999.0522.
- COSENTINO, A., 2014. Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Herit. Sci.*, **2**, 8. DOI: 10.1186/2050-7445-2-8.
- DEGRIGNY, C., PIQUÉ, F., PAPIASHVILI, N., GUERY, J., MANSOURI, A., LE GOÏC, G., DETALLE, V., MARTOS-LEVIF, D., MOUNIER, A., WEFERS, S., TEDESCHI, C., CUCCHI, M., VALLET, J., PAMART, A. and PINETTE, M., 2016. Technical Study of Germolles ' Wall Paintings : the Input of Imaging Techniques. *Virtual Archaeol. Rev.*, **7**, pp. 1–8.
- DOMINGO, I., CARRIÓN, B., BLANCO, S. and LERMA, J.L., 2015. Evaluating conventional and advanced visible image enhancement solutions to produce digital tracings at el Carche rock art shelter. *Digit. imaging Tech. study Prehist. rock art.*, **2**, pp. 79–88. DOI: 10.1016/j.daach.2015.01.001.
- FUJIFILM, 2017. Fujifilm Is Pro Important Notices and Disclaimers. Available: [https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/IS Pro IMPORTANT NOTICES AND DISCLAIMERS .pdf](https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/IS_Pro_IMPORTANT_NOTICES_AND_DISCLAIMERS.pdf).
- HEDJAM, R. and CHERIET, M., 2013. Historical document image restoration using multispectral imaging system. *Pattern Recognit.*, **46**, pp. 2297–2312. DOI: 10.1016/j.patcog.2012.12.015.
- LE QUELLEC, J.L., DUQUESNOY, F. and DEFASNE, C., 2015. Digital image enhancement with DStretch: Is complexity always necessary for efficiency?. *Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.*, **2**, pp. 55–67. DOI: 10.1016/j.daach.2015.01.003.
- LEGNAIOLI, S., LORENZETTI, G., CAVALCANTI, G.H., GRIFONI, E., MARRAS, L., TONAZZINI, A., SALERNO, E., PALLECCHI, P., GIACHI, G. and PALLESCHI, V., 2013. Recovery of archaeological wall paintings using novel multispectral imaging approaches. *Herit. Sci.*, **1**, 33. DOI: 10.1186/2050-7445-1-33.
- MARK, R. and BILLO, E., 2002. Application of Digital Image Enhancement in Rock Art Recording. *Am. Indian Rock Art*, **28**, pp. 121–128.
- MARK, R. and BILLO, E., 2006. COMPUTER-ASSISTED PHOTOGRAPHIC DOCUMENTATION OF ROCK ART. *Mosaic A J. Interdiscip. Study Lit.* pp. 10–14.
- MARTÍNEZ, R. and VILLAVERDE, V., 2002. La cova dels cavalls en el Barranc de la Valltorta.
- ROGERIO-CANDELERIA, M.Á., 2013. Experiencias en la documentación de pintura rupestre utilizando técnicas de análisis de imagen: avances hacia el establecimiento de protocolos de documentación no invasivos. *Cuad. Arte Rupestre*, **6**, pp. 53–67.
- ROGERIO-CANDELERIA, M.A., JURADO, V., LAIZ, L. and SAIZ-JIMENEZ, C., 2011. Laboratory and in situ assays of digital image analysis based protocols for biodeteriorated rock and mural paintings recording. *J. Archaeol. Sci.*, **38**, pp. 2571–2578. DOI: 10.1016/j.jas.2011.04.020.
- UNESCO, 2017. <http://whc.unesco.org/es/list/874>.
- VERHOEVEN, G.J. and SCHMITT, K.D., 2010. An attempt to push back frontiers - digital near-ultraviolet aerial archaeology. *J. Archaeol. Sci.*, **37**, pp. 833–845. DOI: 10.1016/j.jas.2009.11.013.