

EL ATRACTIVO ULTRAVIOLETA.

J. P. Carrasco*, F. J. Romo* y L. Galán**

* I.E.S "Castillo de Luna". Alburquerque (Badajoz)

** Junta de Extremadura. Mérida (Badajoz)



A lo largo del siglo XX se han realizado numerosos estudios sobre la percepción visual de las abejas y sobre el significado que los distintos atributos florales tienen para ellas. En relación a la percepción cromática de estos insectos, se sabe que tienen una buena visión para los colores, pero en un espectro distinto al humano. Las abejas son ciegas para el color rojo y, sin embargo, pueden percibir con toda claridad los colores ultravioletas, invisibles a nuestros ojos. Esto significa que ven el mundo que les rodea en color, pero de una forma muy diferente a la nuestra.

Muchas flores reflejan estos colores ultravioletas, creando toda una gama de combinaciones de color y de pautas distintas a las que nosotros vemos. Estas marcas y nuevos colores, ayudan a las abejas (y a otros polinizadores) a encontrar las recompensas alimenticias que las flores les ofrecen.

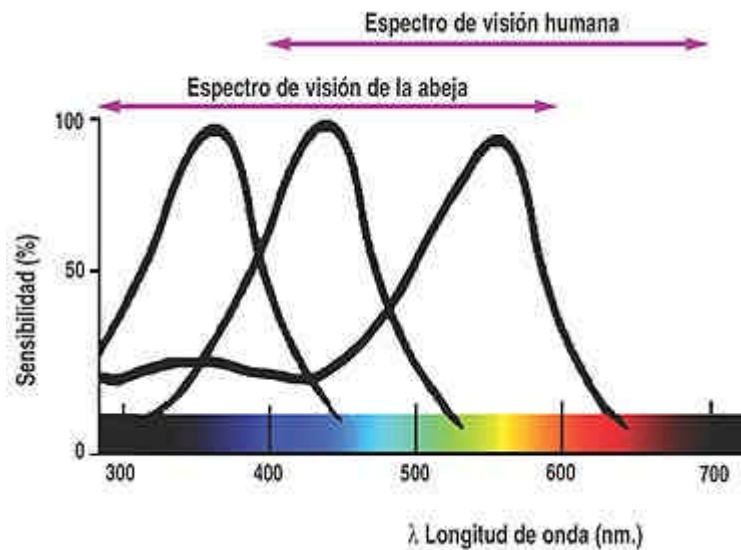
En este trabajo, a través de técnicas fotográficas especiales, se analizan y discuten las pautas de reclamo ultravioleta en distintas flores entomófilas. Siendo uno de nuestros objetivos resaltar el interés científico y divulgativo de estos temas, hemos seleccionado de nuestro archivo fotográfico, algunos ejemplos destacables por su singularidad, o por su representatividad como especies características de la flora apícola en Extremadura.

Entre los diferentes estímulos visuales (tamaño, forma, contorno, simetría etc.) que entran en juego en las relaciones insecto/flor, la percepción del color tiene un papel fundamental (Proctor y Yeo, 1973; Menzel y Shmida, 1993).

Cuando se suponía que sólo los humanos poseían visión cromática, los experimentos de von Frisch a principios del siglo XX, revelaron que las abejas también eran capaces de distinguir colores. Unos años más tarde, Kühn (1924) descubre que las abejas ven la luz ultravioleta (UV). Es también durante esta década, cuando por primera vez, se pone de manifiesto que algunas flores reflejan esas longitudes de onda corta.

Las abejas y los humanos poseemos un sistema visual basado en tres colores primarios (visión tricromática), aunque los límites de la banda de colores y la sensibilidad de los receptores son muy diferentes en las dos especies (ver figura 1).

FIG. 1/ Visión tricromática de las abejas (Menzel y Backhaus, 1991, modificado)



Respuesta sensible de los distintos tipos de fotorreceptores: ultravioleta (fotorreceptores onda corta) longitud de onda max= 344 nm.; azul (onda media) longitud de onda max= 436 nm.; verde (onda larga) longitud de onda max= 556 nm.

En las abejas, la gama de color se extiende desde el ultravioleta (300 nanómetros) hasta el amarillo-anaranjado (650 nm.) mostrando picos de sensibilidad para el ultravioleta, azul y verde (Kevan, 1978; Chittka, 1996). Para el ojo humano, la cinta de color se extiende desde los 400 a los 750 nanómetros con mayor sensibilidad para el azul, verde y rojo. Nosotros no vemos la banda ultravioleta (somos ciegos para los colores de longitud de onda por debajo de los 400 nm), pero percibimos con gran facilidad toda la banda roja; sin embargo, las abejas que son muy sensibles al ultravioleta son ciegas para el rojo (no distinguen colores por encima de los 650 nm).

Aunque las reglas que rigen la mezcla de colores para una abeja son semejantes a las de los humanos (Kevan, 1978 y 1983), la percepción del mundo que les rodea es muy distinta en uno y otro caso. El ultravioleta es para las abejas uno de sus tres colores primarios, que determina de manera fundamental su percepción del color. Ya Sprengel, en 1793, fue el primero en sugerir que las pautas de coloración en las flores funcionaban como verdaderos anuncios para advertir a los polinizadores de la presencia de una recompensa. En este sentido, es evidente que el color utilizado por una flor como reclamo debe estar dentro de la gama de colores visible por el polinizador. Las abejas son atraídas fundamentalmente por flores que a nuestros ojos son azules y amarillas (Faegri y van der Pijl, 1979), aunque ellas podrían apreciarlas de diferente color, ya que el ultravioleta puede estar también presente.

En el diseño de la corola de una flor son muy importantes las marcas de contraste que guían a los insectos hacia donde se encuentra el néctar (Free, 1970; Kevan, 1983). El color de estos anuncios o marcas (refleje o no UV), denominados correctamente “guías de

néctar", suele contrastar con el color floral de fondo, lo que ayuda al polinizador a encontrar el camino correcto. De las flores polinizadas por abejas, un 30% tienen guías de néctar claramente visibles por el ojo humano, pero otro 26% tienen pautas ultravioletas que solamente son percibidas por el ojo de estos insectos (Proctor y Yeo, 1973). Otro aspecto a tener en cuenta en este tipo de estudios, es el contraste que ofrece la flor sobre el fondo. Una flor que refleja UV sobre un fondo muy absorbente, será percibida con mucha facilidad. El contraste entre el color floral y el fondo (ya se trate de hojas verdes, tallos oscuros u hojas marchitas de color pardo) es ciertamente significativo y en los últimos años ha sido muy estudiado (Frolich, 1976; Menzel y col., 1997).

Material y métodos.

Para revelar las pautas de reflexión ultravioleta de las flores, tendremos que mirarlas de forma que la radiación UV se vuelva perceptible a nuestros ojos. Para ello, debemos utilizar un filtro fotográfico especial (tipo B+W 403, Schott UG1), que solamente permite el paso de la banda ultravioleta reteniendo la luz visible. De esta forma exponemos la película solo a las longitudes de onda que nos interesan, la franja de transmitancia de este filtro (entre los 350-400 nm) correspondientes a los UV de onda larga percibidos por el ojo compuesto de las abejas.

Todas las fotografías se tomaron con una cámara Nikon F60 provista de una emulsión color Fuji Superia 800 Asa. No se utilizó iluminación artificial para poder estudiar mejor el contraste flor/fondo, muy importante para el análisis general. Los ejemplares fueron fotografiados "in situ", primero sin filtro (conjunto del espectro de visión humano) y después con él (exponiendo la película sólo a la banda UV) para establecer así las correspondientes comparaciones.

El color azul característico de las fotos UV, se debe a la mayor sensibilidad de la capa azul de la película utilizada a dichos rayos.

Resultados

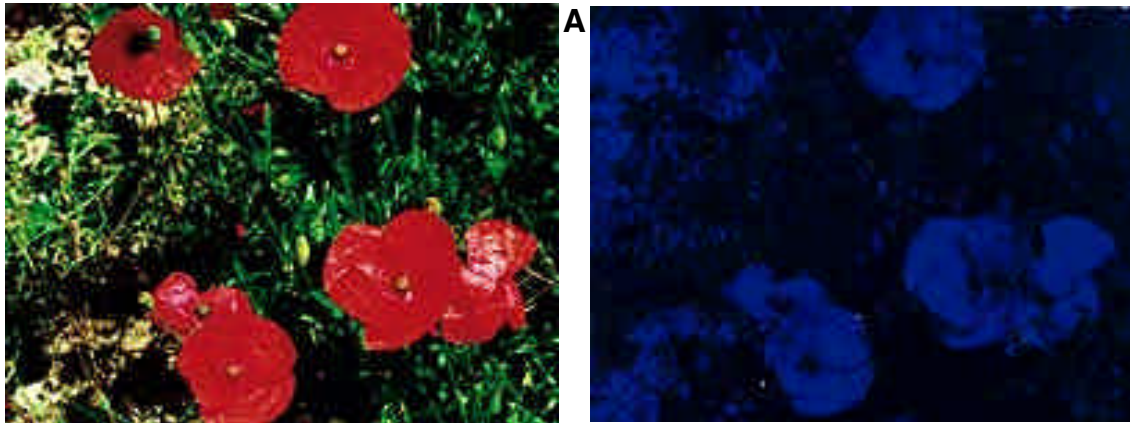
Un objeto posee un determinado color si refleja luz de longitud de onda asociada a ese color. Muchas flores reflejan la luz ultravioleta, por tanto serán vistas por las abejas en combinación con los demás colores reflejados.

En las fotografías de la izquierda de cada lámina, vemos una selección de flores tal y como las percibimos cualquiera de nosotros. En la colección de fotos de la derecha (de tono azulado), se muestra el comportamiento de esas mismas flores, exclusivamente en el espectro de la banda ultravioleta.

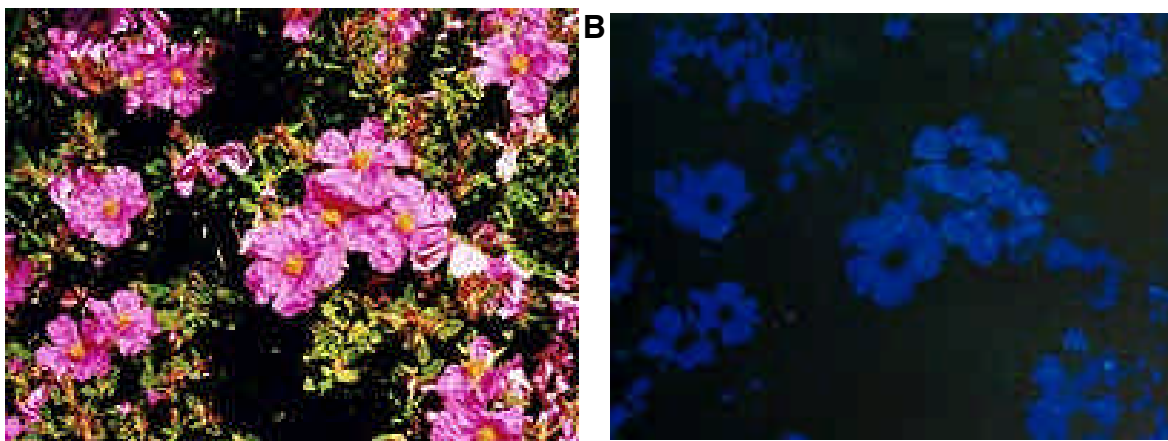
En estas fotos ultravioletas se puede apreciar cómo algunas flores o piezas de ellas aparecen más oscuras (absorben UV), mientras que otras zonas son más claras o brillantes (reflejan UV). La interpretación de las imágenes obtenidas de esta forma nos ayuda a deducir y comprender los tipos de contrastes que perciben los insectos en la banda ultravioleta.

En la primera pareja de fotografías (fotos A), se estudia el caso de la "amapola" (*Papaver rhoeas* L.). Algunas personas se preguntan por qué las abejas visitan las flores rojas de las amapolas, si son ciegas a este color. La explicación de esto es sencilla, estas flores no sólo reflejan las radiaciones rojas, sino también radiaciones ultravioleta, como se aprecia

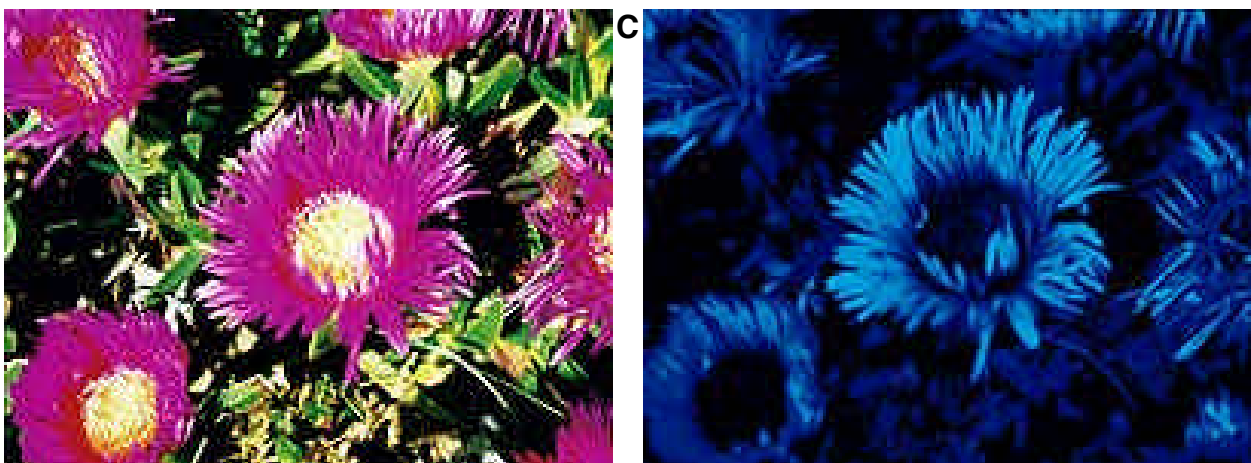
en nuestra fotografía. Es muy probable que dichas radiaciones ultravioletas constituyan el principal elemento de atracción para los polinizadores.



En el par de fotos B se muestran flores de "jara rizada" (*Cistus crispus* L.), especie muy visitada por las abejas para recolectar su polen. Los cinco pétalos de su flor son muy reflectantes mientras que su parte central (estambres y ovario) absorben en gran medida la banda UV creando un fuerte contraste. El follaje de fondo aparece fuertemente absorbente como en el caso anterior.

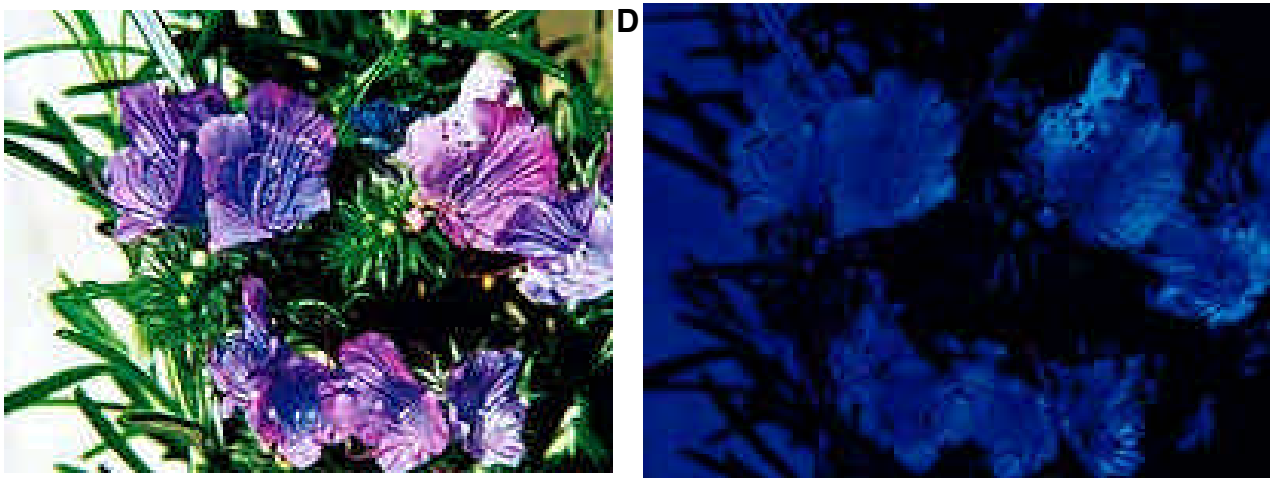


Algo similar ocurre con las flores de *Carpobrotus acinaciformis* (L.) L. Bolus (fotos C). En las flores de esta planta, originaria del Sur de África y utilizada como ornamental, pero muy visitada por las abejas, destaca un patrón ultravioleta de contraste, debido a la reflexión que presentan sus pétalos frente a una masa de estambres muy absorbente.



Las fotografías UV de *Cistus crispus* y *Carpobrotus acinaciformis* ilustran la preferencia de las abejas por flores con regiones centrales que absorben ultravioleta. Es lo que se denomina "efecto diana" que parece ser un mecanismo muy extendido para llamar la atención del polinizador.

En las flores púrpuras de "chupamieles, viborera, argamula" (*Echium plantagineum* L.) fotos D de la segunda lámina, destaca una fuerte reflexión en la banda UV de toda la arquitectura de la corola, lo que le permite un contraste visual con el fondo suficientemente acentuado. Si a estas flores, púrpuras para nosotros, le eliminamos el componente rojo (invisible para las abejas), aparecerían de un color "azul + ultravioleta" para las abejas, que es el denominado por Kevan "violeta de las abejas". Ésta es una especie importante dentro de la flora melitófila de nuestra región, es gran productora de néctar y origina mieles monoflorales; sin duda debe parte de su atractivo a su potente reflexión ultravioleta.



Las dos parejas de fotos que siguen en la lámina 2 (E y F), tienen un denominador común: la presencia de "guías de néctar" cuya finalidad es atraer a los polinizadores hacia la dirección adecuada.

En el primer caso, se muestran las guías de néctar de la "malva" (*Lavatera cretica* L.) especie productora de néctar y polen, foto E. Las líneas convergentes hacia el interior de la flor son perceptibles para el ojo humano, pero para el ojo de la abeja el contraste se refuerza; esas líneas son muy absorbentes en el UV en contraposición al resto del limbo petaloideo.

Para finalizar, se analizan las flores del "pepinillo del diablo" (*Ecballium elaterium* (L.) A. Richard) foto F. En éstas se distingue un área interna más oscura (zona que absorbe UV), contrastando claramente con la zona externa del embudo de pétalos y con el androceo central. En este caso, en la zona externa de la corola, aparece el denominado "púrpura de abejas" al mezclarse los colores de los extremos del espectro de este insecto: el amarillo y el ultravioleta (para los humanos el color púrpura es la mezcla de rojo y azul, los dos extremos de nuestro espectro). Esta zona externa de la corola está salpicada, a su vez, de sutiles guías de néctar absorbentes al ultravioleta.



Discusión

En los estudios ya clásicos de fotografía UV realizados fundamentalmente a partir de la década de los 70 (Kevan, 1978), se usan una serie de filtros monocromos ajustados a cada color primario del espectro de visión de la abeja. Así, se consigue deducir qué tipo de contrastes perciben estos insectos, pero de forma individualizada, analizando independientemente cada banda de color.

Es dentro de este tipo de estudios, donde se puede encuadrar nuestro trabajo, ya que hemos utilizado un filtro opaco a la luz visible, para evidenciar exclusivamente el color ultravioleta reflejado por las distintas especies florales estudiadas. Actualmente, la comprensión de la acción óptica de las flores sobre los insectos polinizadores está muy avanzada. Ha sido a partir de la última década del siglo XX, gracias a la utilización de nuevas técnicas de fotografía y video digitales cuando se ha hecho posible un análisis integral (Vorobyev y col., 1997). De esta forma se ha conseguido algo fundamental; establecer las bases para una clasificación de cualquier color floral dentro del espacio real de colores-abeja (Gumbert y col., 1999). La revitalización de los estudios relacionados con la fisiología sensorial de la abeja melífera: funcionamiento de fotorreceptores, reconocimiento y discriminación de estímulos visuales, aprendizaje de modelos y pautas de memorización en abejas, ha contribuido también a la correcta interpretación de las imágenes obtenidas por estas nuevas técnicas. Centrándonos en el análisis de la banda ultravioleta, los aspectos estadísticos revelan conclusiones muy interesantes: se sabe que entre las especies polinizadas por abejas la

reflexión (color) ultravioleta es menos frecuente, y además de menor intensidad, que la reflexión de otras partes del espectro (Chittka y col., 1994). Sin embargo, esta supuesta falta de notoriedad del UV, queda contrarrestada por el hecho de que los receptores visuales UV de las abejas, son relativamente más sensibles (a menores cantidades específicas de luz) que los del azul y los del verde (Chittka y col., 1992). La dimensión lógica de esta adaptación se aprecia al comprobar que la radiación ultravioleta reflejada por el fondo más común de todos, el follaje verde, es muy pequeña y por tanto, pequeñas cantidades de luz UV reflejadas desde las flores, pueden ser fácilmente perceptibles por los ojos de las abejas pecoreadoras. Esta situación se observa en las fotos seleccionadas en nuestro trabajo.

En este sentido, ha sido constatado que mientras que en el desierto (fondo muy reflectante en el UV) muy pocas especies vegetales tienen flores con colores UV, en la flora mediterránea (cuyo follaje verde es muy absorbente en el UV) el porcentaje de especies florales que lo reflejan se incrementa (Menzel y col., 1997). Aunque son muchos los datos, aún hoy, no sabemos con total exactitud cómo los ojos de las abejas perciben toda la gama de colores, ni tampoco como sus cerebros interpretan estas señales nerviosas. Lo que sí queda claro, es que los colores ultravioletas también estimulan la visión de las abejas y les ayudan a encontrar su recompensa floral.

Nuestras imágenes ultravioletas no representan con exactitud lo que percibe el ojo compuesto de una abeja, sin embargo si nos sirven de ayuda en el análisis e interpretación de esta banda de color, que siendo imperceptible para el ojo humano, juega un papel evidente como atractivo floral para las abejas.

BIBLIOGRAFÍA

Chittka, L. (1996). Optimal sets of colour receptors and opponent processes for coding of natural objects in insect vision. *J. Theor. Biol.*, 181, 179-196.

Chittka, L.; Beier, W.; Hertel, H.; Steinmann, E. y Menzel, R. (1992). Opponent colour coding is a universal strategy to evaluate the photoreceptor inputs in Hymenoptera. *J. Comp. Physiol. A*, 170, 543-563.

Chittka, L.; Shmida, A.; Troje, N. y Menzel, R. (1994). Ultraviolet as a component of flower reflections, and the colour perception in Hymenoptera. *Vision Res.*, 34 (11), 1489-1508.

Faegri, K. y van der Pijl, L. (1979). *The Principles of Pollination Ecology*. Pergamon Press. Oxford.

Free, J. B. (1970). Effect of flower shapes and nectar guides on the behaviour of foraging honeybees. *Behaviour* 23, 269-286.

Frolich, M.V. (1976). Appearance of vegetation in ultraviolet light: absorbing flowers, reflecting backgrounds. *Science*, Vol. 194, 839-841.

Gumbert, A.; Kunze, J. y Chittka, L. (1999). Floral colour diversity in plant communities, bee colour space and a null model. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 266, 1711-1716.

Kevan, P.G. (1978). Floral coloration, its colorimetric analysis and significance in anthecology. En: *The pollination of flowers by insects* (A. J. Richards, ed.) The Linnean Society Symposium Series nº 6, 51-78. Londres.

Kevan, P.G. (1983). Floral colors through the insect eye: What they are and what they mean. En: Handbook of Experimental Pollination Biology. (C.E. Jones & R.J. Little, ed.) Scientific and Academic Editions. Nueva York.

Menzel, R. y Backhaus W. (1991). Colour vision in insects. En: Vision and visual dysfunction. The perception of colour (P. Gouras ed.) Macmillan. Londres.

Menzel, R.; Gumbert, A.; Kunze, J.; Shmida, A. y Vorobyev, M. (1997). Pollinators' strategies in finding flowers. Israel Journal of Plant Sciences, 45, 141-156.

Menzel, R. y Shmida, A. (1993). The ecology of flower colours and the natural colour vision of insect pollinators: the israeli flora as a study case. Biol. Rev., 68, 81-120.

Proctor, M. y Yeo, P. (1973). The pollination of flowers. Ed. Collins. Londres.

Vorobyev, M.; Gumbert, A.; Kunze, J.; Giurfa, M.; y Menzel, R. (1997). Flowers through insect eyes. Israel Journal of Plant Sciences, 45, 93-102.