

2002-2006: cuatro años investigando el azul maya

Constantino investigó durante muchos años el azul maya. Popularizó en México este pigmento excepcional. Como historiador indagó en documentos históricos donde encontró indicios de lo que podía ser la receta del azul maya. Como químico llevó a cabo cientos de experimentos que le permitieron proponer el método de fabricación que posiblemente utilizaron los antiguos mayas. Este rigor en la documentación y en la investigación experimental están magistralmente plasmadas en su libro *De Bonampak al Templo Mayor. El azul maya en Mesoamérica*.¹ Este libro, de ágil lectura y preciosas fotografías, la mayoría tomadas por él mismo, es obra fundamental para entender la problemática del azul maya. El azul maya encierra todavía muchos misterios, y Constantino estaba consciente de la necesidad de seguir trabajando para descifrarlos. Quizás por ello, cuando yo lo contacté por correo electrónico en el verano de 2002 interesándome por el tema, él me respondió entusiasmado y fue el inicio de una fructífera colaboración que trato de resumir en estas páginas. Constantino fue guía y sustento de todas nuestras acciones, y siempre estaba ahí con sus consejos y sus ideas. Para plasmarlas aquí, he creído interesante retomar literalmente parte de su correspondencia, lo que da idea de su perspicacia y rigor científico, así como para presentar una problemática que pueda motivar y guiar futuras investigaciones sobre un pigmento que no deja de dar sorpresas. Sin duda, el estudio del azul maya abre una ventana por donde asomarse al arte, a la tecnología y a la historia, en suma, a la vida de la antigua Mesoamérica. Personalmente, la relación laboral con Constantino se vio superada por la amistad y cariño que siempre manifestó, lo que hacen que lo recuerde primero como amigo, luego como maestro y finalmente como colega.

* European Synchrotron Radiation Facility, en Grenoble, Francia.

¹ Constantino Reyes-Valerio, *De Bonampak al Templo Mayor. El azul maya en Mesoamérica*, México, Siglo XXI, 1993.

Encuentro con Constantino

Mi encuentro con Constantino fue a través del azul maya. En 2002 estaba leyendo artículos relacionados con las aplicaciones de técnicas analíticas modernas en materiales arqueológicos. En julio de 2002 decía el *National Geographic*: “Maya Paint: Made to Last. Lori Polette of the University of Texas at El Paso has solved the ancient mystery of how the blue color found in Maya art has remained so bright.” Hasta entonces no había oído hablar del azul maya y pensé que debía ser un tema muy interesante, y qué lástima que ya se habían resuelto todos los misterios, porque ya no quedaba nada por hacer. Todavía no conocía a Constantino, pero apliqué una de sus reglas de oro, que después me contó que repetía constantemente a sus alumnos: “No se crean lo que les dicen, ni siquiera lo que leen en los libros.” Y así fue, busqué bibliografía, leí algún artículo y me di cuenta que el misterio de porqué el azul maya se conserva tan bien seguía sin resolverse, y que Constantino era quien había descrito la receta antigua para la fabricación del azul maya basado en un minucioso estudio de documentos históricos y muchísimas horas de experimentar en su cocina. Sin más, decidí contactar por correo electrónico a Constantino, le hice partícipe de mi interés por el azul maya y de la posibilidad de efectuar experimentos nuevos. Constantino recibió calurosamente mi propuesta, e intercambiamos varios correos en los que me confirmaba que el misterio seguía sin resolverse: “El proceso de la unión enigmática entre la arcilla y la leucobase de las hojas del añil, para formar el pigmento azul casi negro y cambiar por calentamiento a color turquesa, es un misterio que tal vez la ciencia pueda revelar. Se debe realizar un tipo de enlace físico-químico no conocido o hasta hoy inexplicado. Misterio también es el por qué toma

ese fascinante color turquesa, al ser calentado tan solo a unos 100 °C.”

También apuntaba algunas hipótesis: “Hace muchos años algún químico pensó que la arcilla era como un tubo y que en su interior penetraba el añil y por esto era indestructible. Ahora parece que no es exactamente eso... pero ¿qué fenómeno ocurre?”

A finales de diciembre de 2002, aprovechando unas vacaciones familiares en México, concerté una cita con él. Nos vimos para desayunar (a Constantino le gustaban esas citas), y después de platicar un poco de todo me dio un paquetito preparado cuidadosamente con los ingredientes para empezar nuestro trabajo: una muestra de azul maya preparada por él, algún pedacito de azul maya, la arcilla *sacalum* (palygorskita), y hojas de añil cultivadas por él mismo.

Después de las vacaciones en las playas mexicanas volví al invierno francés. Constantino me dio la bienvenida con su humor habitual: “Me alegra que hayan llegado bien a pesar del frío que, francamente, no me gusta en forma alguna, excepto el del helado de vainilla, mi favorito”.

Azul maya “made in Europe”

Nos propusimos fabricar el azul maya y empezar a estudiar el porqué de su resistencia y estabilidad. Para ello formamos un equipo local, en colaboración con los doctores Pauline Martinetto y Eric Dooryhée, del CNRS en Grenoble (Laboratorio de Cristalografía). Pronto se incorporó Nicholas Peltier, que se interesó por el tema para realizar la estancia de investigación requerida para obtener su licenciatura. Nos dispusimos a fabricar azul maya, y otros pigmentos similares, usando todos los métodos de síntesis propuestos, tanto los que usan productos de laboratorio (recocido de mezcla de polvo de índigo sintético

y arcilla, tintura de cuba: *vat-dyeing*, en solución de acetato de indoxyl) como el método tradicional propuesto por Constantino. Para este último disponíamos de *sacalum* (arcilla palygorskita) y hojas de añil, elementos proporcionados por Constantino. Además, Constantino nos procuró azul maya sintetizado por él, que usamos como modelo del resultado que debíamos obtener. Si bien en las síntesis usando métodos de laboratorio no encontramos ningún problema y obtuvimos fácilmente el pigmento con las características del azul maya resistente a los ácidos, la síntesis por el método de Constantino nos llevó más tiempo.² Esta receta está bien detallada en su libro, pero reproducir los resultados costó su tiempo y esfuerzos. Intercambiamos muchos correos electrónicos donde contábamos a Constantino todos los detalles de nuestros éxitos y fracasos, y él nos guiaba en los nuevos experimentos. He aquí alguno de sus comentarios:

Me di cuenta de que me preguntaba si hay que lavar las hojas. Hice las dos cosas, pero pensé en los mayas que, afortunadamente no eran químicos ni PhD's, y da lo mismo. Sólo utilizaba agua destilada o ionizada para evitar la contaminación con algún elemento extraño y eso era todo. Lo importante es seguir las instrucciones al pie de la letra. Si no se hace así, no sale el azul maya turquesa, y recalco, el turquesa que varía en tonos.

Tus reportes me informan de lo que ha ocurrido a otros que también se dirigieron a mí, porque no les salía el condenadísimo azul maya. Imagina a los sacerdotes mayas de hace 1 300 años. Cuánto debieron experimentar, y, al fin, consiguieron [...] el azul maya. Paciencia.

Seguir al pie las instrucciones. Eso hice después de 100 o más experimentos.

- Agitar el remojo: decantar el líquido y oxigenar éste.

- Agitar para oxigenar = oxidar.

- Filtrar y calentar. Ese es el secreto. Ve el libro por favor.

Las sustancias son las mismas: hojas, arcillas, agitación y oxigenación.

El filtraje y el calentamiento te darán el turquesa. Usa no más de 5 gramos de hojas y no más de 1.5 g. de arcilla. Espero recibir el reporte, y felicidades. En algún lado está el secreto de la unión de la arcilla con el añil, todavía está en espera. ¿Lo resolveremos?

En cuanto a las últimas preguntas en torno al calentamiento, recuerdo que haber calentado a más de 130 grados, el papel empezaba a ponerse negro y quemarse en más de una ocasión, por eso me establecí en más-menos 100 °C y nunca llegué a calentar más de una hora, y como el azul turquesa empezaba a aparecer casi a los 20 minutos, solo calentaba unos 10 minutos más. Ahora que yo lo hacía directamente sobre una lámina de hierro y lo estaba vigilando visualmente. Fue emocionante ver el turquesa después de quemar unas decenas de muestras. Hubo una que otra muestra que no era resistente a los ácidos, pero nunca investigué por qué, sobre todo al principio de las 200 pruebas que hice.

Por favor, avísame que le ocurre cuando emplee las hojas con el sacalum o con la palygorskita. Recuerde de seguir las instrucciones al pie de la letra, como está en el libro o como ya le he dicho. Las agitaciones y oxigenaciones son fundamentales. El turquesa aparecerá en el precipitado azul-negro después de calentar, al menos 20-30 minutos, y aumentará un poco más con los minutos. Tengo muchas muestras del azul maya que hice con una o más arcillas [...] le voy a enviar unos miligramos de esas muestras. Tengo algunas que fueron negativas a los reactivos, pero nunca investigué por qué. Como no tengo más laboratorio que la cocina, pues no era posible hacer análisis alguno. No creo, pero lo digo empíricamente, que el tonelaje tenga algo que ver con la penetración. Los mayas no tenían prensas, y, en estos casos, hay que pensar como indígena. Ese proceso

² N. Peltier, *Synthèse et caractérisation d'un complexe organo-argileux: le pigment "Bleu Maya"*, Grenoble, Université Joseph Fourier, 2003. En línea <http://www.esrf.fr/computing/scientific/people/srio/publications/NicolasPeltier.pdf>.

fue el que me hizo llegar a la producción del azul maya: pensar como indio, nunca como científico. Aunque creo que ellos fueron científicos empíricamente hace 12-14 siglos, ¿no lo cree? Felicidades y paciencia. Saludos. Cordialmente, Constantino.

Fue efectivamente, con paciencia y siguiendo las instrucciones del libro y los consejos que nos escribía, que conseguimos reproducir la receta tradicional del azul maya.

Verde maya

El hecho de no conseguir azul en las primeras pruebas, quizás por falta de oxigenación de la mezcla, nos llevó a fabricar un pigmento no azul, sino verde, que resultó ser resistente a los ácidos. Esto, que para nosotros era un fracaso, se lo comentamos a Constantino y le vino a mente una idea muy interesante: ¿Podrían los mayas controlar el color del pigmento, consiguiendo tonalidades desde el azul hasta el verde? ¿El verde de Bonampak sería un “verde maya”, realizado con la misma técnica que el azul? Constantino creía positivamente que sí, que el verde de Bonampak, y probablemente otros verdes prehispánicos, eran verde maya, creados a partir de *sacalum* y añil.

He aquí las ideas originales.

Pero hay algo en el trabajo que merecería la pena una investigación mayor. Han obtenido un color verde resistente al ácido, al calentar un poco menos la mezcla de azul maya y paligorskita. Creo que aquí puede estar el secreto de la producción del verde maya, porque en el cuarto 2 y también en el cuarto 1 de Bonampak (página 27 de mi libro), en la que aparece en las tenazas de los personajes del lado derecho y en algunas otras pequeñas partes un tono verdoso increíble. Tal vez en la biblioteca tengan el volumen 187, núm. 2, de febrero de 1995 del *National Geographic Magazine*, en las que Mary Ellen Miller, ha reproducido, un poco exageradamente quizás, el tono casi real de

las pinturas de Bonampak. En realidad esto importa poco o nada. Lo importante está en el color verde. Es posible, sólo posible que al calentar menos la paligorskita y las hojas de añil, se produzca el color verde. Esto es lo importante, porque así se aclararía otro de los misterios o enigmas que giran en torno al pigmento maya.

[...] hay mucha tela de donde cortar con ese misterioso azul maya que trae a varios científicos de cabeza. Y no se olvide del verde maya que no se ha estudiado. He repasado algunos de sus experimentos y trataré de conseguir el tono verde de la misma manera que lo hicieron los mayas hace más de un milenio. Por cierto que hasta donde se sabe hasta en este momento, sólo ha aparecido en Bonampak. No lo hay en Cacaxtla, ni en Yaxchilán, pero aquí fueron destruidas todas las pinturas, quizás en algún otro sitio que aparezca uno de estos días se vuelva a observar.

Constantino me hizo llegar una muestra de verde de Bonampak. Él mismo había confirmado su resistencia a los ácidos:

La reacción de Bonampak al $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ le dio un color verde, y esto es MUY IMPORTANTE, porque aunque se ha hablado de un VERDE MAYA, generalmente se refieren a un tono verdoso del azul, pero aquí me salió un VERDE en la reacción y si observa las figuras de las páginas 24-25 y la página 27 de mi libro las fotografías del lado extremo derecho y las de la página 27 muestran claramente un color verde. Hay otra que no está incluida en el libro, pero posee un penacho de plumas VERDES. Creo que de allí proviene la muestra, pero no estoy muy seguro [...] Sin embargo hay diversas partes en las que hay tono verde, y, desde luego, si tiene añil es Verde maya. Por esta razón le encargo mucho las muestras de Bonampak, pues sería el primer reporte científico de este pigmento. Le envío una copia del artículo de Diana Magaloni, aunque ella reporta azurita y malaquita, pero usted dirá la última palabra. No creo ni en la presencia de estos compuestos químicos, pero es creencia insegura y no científica. Usted dirá con sus métodos modernos no destructivos.

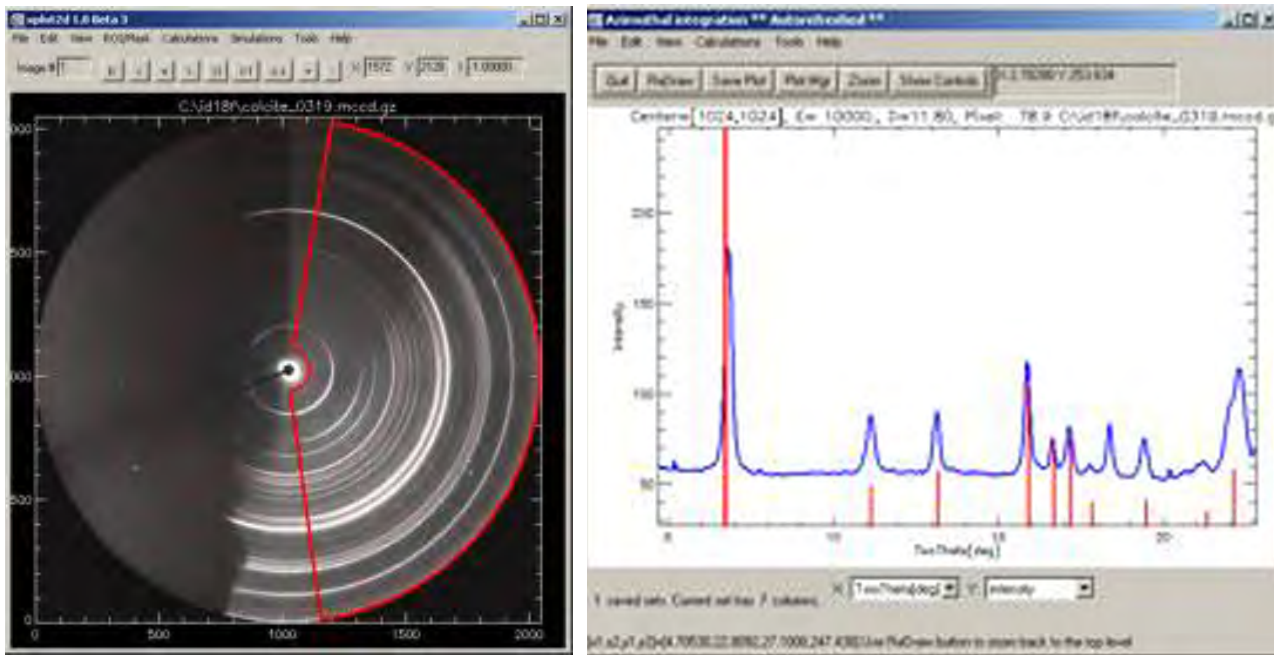


Figura 1. A la izquierda puede observarse una imagen de difracción medida en el sincrotrón de Grenoble (ESRF) a partir de una muestra con pigmento verde de Bonampak. A la derecha puede verse el difractograma correspondiente, obtenido por integración de la imagen, junto con las líneas de referencia de los picos de la palygorskita.

[Deben] hacer los análisis en el Synchrotron, pero sí debe aprovechar la oportunidad de analizar la muestra que le he llamado la joya de la Corona (no se si inglesa, española, francesa o rusa zariana) dicho sea esto en broma, porque resultó que la muestra que le envío de Bonampak, Chiapas, me salió un color verde resistente al HCl y HNO₃ y esto si que es extraordinario, pues en otras muestras me había salido el azul maya pero nunca el VERDE. A la mejor estoy equivocado. Sin embargo, si fuese verde, debe haber sido fabricado con palygorskita, y este reporte, científicamente hablando, sería el primero en el mundo, lo cual daría lugar para un artículo reportando el verde maya. Se que la muestra es muy pequeña pero [...] conseguir otras sería casi imposible, a menos que se publique primero que también existe el “verde maya” con añil y palygorskita. Sus análisis de Infrarrojo FTIR [Fourier Transform InfraRed spectroscopy] y el del Synchrotron NO destructivo le dirán si estoy en lo cierto o estoy equivocado.

Pues estaba en lo cierto. Realizamos el experimento en el sincrotrón de Grenoble en marzo

y junio de 2004 y concluimos que esa muestra de verde Bonampak contiene palygorskita (figura 1), además de no contener ni cobre ni cobalto, elementos que pudieran relacionarse con minerales azules (tipo azurita, malaquita, etcétera). Además, la doctora Elsa van Elslande comprobó, usando espectroscopía Raman en los laboratorios del Museo del Louvre, que también tiene índigo (figura 2). Así que en el “verde maya” de Bonampak hay *sacalum* y añil, los ingredientes del azul maya.

Antes de hacer públicos estos resultados en un artículo, yo consideraba necesario analizar otras muestras. En 2005 contactamos al INAH solicitando muestras verdes de Bonampak. Obtuvimos varias muestras azul-verdoso, y una verde obtenida específicamente para nosotros. Desgraciadamente, estas nuevas muestras mostraron la presencia de pigmentos sintéticos recientes (ftalocianinas), sin duda consecuencia de restaura-

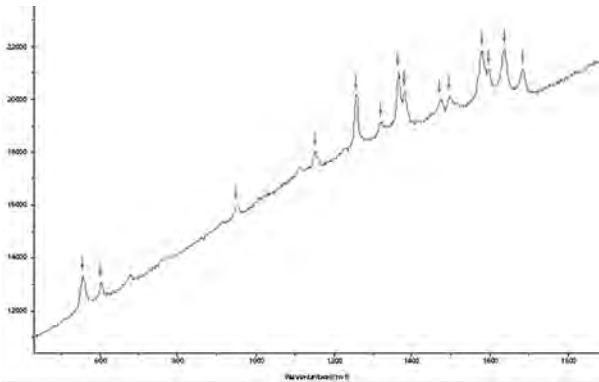


Figura 2. Espectro Raman del pigmento verde de Bonampak, muy similar al azul maya, y donde se aprecian picos del añil (indigo). Manuel Sánchez del Río *et al.*, "On the Raman Spectrum of Maya Blue", en *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 37, 2006, pp. 1046-1053.

ciones recientes. Próximamente realizaremos un nuevo experimento sobre la muestra original, más alguna otra que Constantino encontró en sus archivos, y esperamos poder publicar próximamente estas ideas aquí anticipadas.

La excepcional resistencia del azul maya

Después de realizar las primeras síntesis de azul maya, nos planteamos la necesidad de verificar la resistencia del pigmento y los ingredientes. Para ello realizamos síntesis usando palygorskita de varios lugares diferentes (México, Senegal y Attapulgu, Estados Unidos) y sepiolita, una arcilla de estructura similar a la palygorskita pero más magnésica y con canales más anchos en su estructura. Este trabajo inició una interesante colaboración con las doctoras en geología Mercedes Suárez (Universidad de Salamanca) y Emilia García-Romero (Universidad Complutense de Madrid). Continuamos estudiando las propiedades y estructura de las arcillas palygorskita y sepiolita, y su relación con el azul maya. En este trabajo realizamos ataques ácidos hasta destruir tanto las arcillas como los pigmentos. Para ello se efectuaron experimentos de reflujo, donde las

muestras de pigmento o arcilla se introducen en una disolución de ácido concentrado y se calientan durante horas hasta la ebullición. El montaje dispone de una columna de condensación para evitar la evaporación de todo el ácido y permitir tratamientos de muchas horas. Después de los ataques ácidos realizamos estudios de difracción de rayos x para analizar los residuos, y constatar la resistencia o la destrucción de la matriz inorgánica de la arcilla. Observamos que el pigmento índigo-palygorskita (azul maya) necesita ser atacado durante más de 24 horas en ácido concentrado en ebullición para ser completamente destruido y decolorado. Constatamos también que la excepcional resistencia del azul maya se debe a la gran estabilidad de la palygorskita ante los ácidos. Vimos también que los pigmentos sepiolita-índigo son relativamente estables, resistiendo los ácidos durante minutos, pero decolorándose y destruyéndose al permanecer varias horas en ácido a temperatura ambiente. Confirmamos también la necesidad del calentamiento de la mezcla palygorskita-índigo para conseguir su estabilización (resistencia), pero también observamos que las mezclas sepiolita-índigo pueden presentar cierta estabilidad sin calentar.

Estos resultados muestran diferencias fundamentales en el comportamiento de pigmentos a base de palygorskita y sepiolita, contrariamente a lo que se venía diciendo que el azul maya podía obtenerse tanto con una como con la otra arcilla. Ello dio lugar a una publicación en *Archaeometry*.³

Constantino sostenía que las arcillas para fabricar el azul maya las debían obtener de lodos de ríos, o lugares cercanos a las habitaciones de

³ M. Sánchez del Río *et al.*, "Synthesis and Acid-Resistance of the Maya Blue Pigment", en *Archaeometry*, vol. 48, 2006, pp. 115-130.

los pintores, y que podían ser diferentes y mezcladas, aunque con mayoría de *sacalum*. Él mismo realizó muchos experimentos mezclando diversas arcillas. Por eso, Constantino pensaba que nuestros experimentos con sepiolita nos desviaban un poco del tema fundamental:

Me da la impresión de que se le concede demasiada atención a la sepiolita, y sin que sepamos si existe en todas las muestras de azul maya precolombino. Es posible que haya existido como un contaminante natural o bien a que en algunos sitios estaba mezclada a la palygorskita como parte natural de la corteza terrestre que, es en su mayor parte formada por arcillas [...] En conclusión, la presencia o ausencia de la sepiolita no tiene ninguna importancia, y, aunque sea difícil, hay que pensar como pensaron los sacerdote-pintores mayas hace más de un milenio para resolver sus problemas. Sólo pensando así podremos acercarnos a resolver los enigmas precolombinos, claro, empleando la sensibilidad de los instrumentos de que disponemos en la actualidad.

Constantino tenía la idea de que los antiguos obtenían los ingredientes para hacer azul maya de muchos lugares diferentes, contrario a la hipótesis de un sólo origen o un sólo lugar de proveniencia. Actualmente se cree que la palygorskita y la sepiolita son arcillas raras, poco frecuentes, y que se obtienen solamente en unos pocos lugares donde se reunieron en épocas geológicas unas ciertas condiciones formativas. De hecho, se conocen bien en México varios yacimientos de palygorskita en la península de Yucatán, donde hay evidencia de extracción en la antigüedad. Pero es posible que estas arcillas sean más frecuentes de lo que actualmente se piensa, y es posible que en tiempos prehispánicos se supiera de más yacimientos de palygorskita o sepiolita que hoy. Como veremos después, la sepiolita vuelve a ser protagonista en

los estudios de proveniencia que luego se mencionarán.

El color del azul maya

Una de las características principales del azul maya es su bonito color. Aunque puede presentarse con muchas tonalidades, que van desde un azul más bien oscuro hasta el verde, el color más frecuente, el que es único del azul maya, es un color turquesa, que muchos autores comparan al del Mar Caribe y nos lleva a pensar en Tulum, donde encontramos los dos: el del mar y el de las pinturas. Constantino estaba muy atento al color de los resultados de las síntesis, y creo que era capaz de distinguir si era azul maya o no con una simple mirada. Siempre nos preguntaba por el color de nuestras preparaciones: "Sobre todo, que produzcan el color turquesa al calentamiento, de todo lo cual no me ha dicho una palabra", y ciertamente se emocionaba al ver aparecer ese turquesa característico del azul maya: "Misterio también es el por qué toma ese fascinante color turquesa, al ser calentado tan sólo a unos 100 °C, cambio que puede uno ver sobre una lámina cualquiera como aquella en la que calentamos aquí las tortillas, con una salvedad, la de voltearla para no contaminarla con algún proceso desconocido."

Constantino se interesó por la posibilidad de producir otros colores:

[...] señalo algunos otros experimentos con tintes naturales distintos. Hice uno con un amarillo precioso (color de yema de huevo) y traté de unirlo con la arcilla *sacalum*, sin éxito. Como que las moléculas o átomos no tuvieron afinidades. Hice lo mismo con otra hierba que da un tono purpúreo y que cambia con el pH que le vaya uno dando. El púrpura es precioso, de los más hermosos que haya visto. Tampoco pudo haber afinidades. Así

seguí experimentando sin conseguir resultado alguno. Quizás sea posible importar algún pintor maya del siglo IX d.C. para que nos de una orientación.

Los mayas, según la receta de Francisco Hernández, no calentaban el agua con este colorante [añil]. Pero si calentaban con el amarillo zacatláxcalli (*Cuscuta sp.*) y con el de la *Jacobinia spicigera* que da un color magenta-morado precioso, pero no se unen a la palygorskita. Enorme desgracia, porque son preciosos.

Y también nos sugería él hacer pruebas: “creo que vale la pena investigar si es posible hacer otro pigmento como el azul maya, empleando desde luego el *sacalum*, para que fuese resistente. Todo será cuestión de tener la mente abierta y experimentar, como lo hicieron los mayas. Ahora que, a la mejor fue de pura chiripa (busqué la palabrita en el diccionario y sí aparece...)”.

El estudio en profundidad del color azul maya es un tema donde todavía hay mucho que hacer. Creemos que los mayas controlaban el color del azul maya de alguna forma, probablemente modificando temperaturas, tiempos o pH, y conseguían hasta el verde, como vimos antes. También es importante el color y la naturaleza de la arcilla, ya que pequeñas variaciones de blanco pueden dar resultados muy diferentes, en particular si tiende a amarillo. Esto se podría relacionar quizás con la proveniencia de las arcillas. Es notorio, por ejemplo, que el azul de la zona maya es diferente al de las muestras mexicas. El control del color es un proceso muy difícil. Nosotros observamos que dos muestras preparadas en idénticas condiciones podían, en algún caso, dar lugar a tonalidades diferentes. Sin embargo, cada vez vamos sabiendo más. Trabajos recientes⁴ muestran que el índigo al interac-

cionar con la palygorskita se convierte en dehidroíndigo, que presenta una coloración amarillenta, la cual combinada con el azul del índigo daría los tonos turquesa verdoso del azul maya.

También hicimos pruebas tratando de conseguir otros colores. Vimos que el rojo del ácido carmínico (el de la cochinilla) no se combina bien con la palygorskita. Observamos que algunos derivados del índigo sí se combinan con la palygorskita. En particular el tioíndigo, que es rojo, se combina con la palygorskita para formar un pigmento estable. El problema es que pasó de rojo a azul al calentarlo. También probamos con dibromoíndigo sintético, de color violeta, y se forma un pigmento estable de color violáceo. Esto es interesante porque el dibromoíndigo es el componente del púrpura del caracol.

Estudio y caracterización de muestras arqueológicas

En paralelo al estudio de síntesis y caracterización del “nuevo” azul maya iniciamos una campaña de estudio de fragmentos antiguos de pigmentos, con la idea de profundizar en los materiales utilizados, técnicas de fabricación, y eventualmente encontrar diferencias entre el azul maya de lugares diferentes. Las distintas técnicas de análisis nos permiten conocer la composición de las muestras, y del estudio en profundidad de estos resultados se trata de obtener información sobre cómo, cuándo y dónde se hicieron estos materiales, en suma, su contexto histórico-artístico. El conocimiento aislado de la composición no sirve de mucho, debe ser relacionada con el contexto histórico, artístico y tecnológico en que la pieza estudiada fue creada. Ya en el siglo XIX el químico francés Marcelin Berthelot estudió más de un centenar de piezas

⁴ A. Domenech, M. T. Domenech-Carbo, M. L. Vázquez de Agredos Pascual, “Dehydroindigo: A New Piece Into the Maya Blue Puzzle from the Voltammetry of Microparticles

Approach”, en *Journal of Physical Chemistry, Materials, Surfaces, Interfaces and Biophysical*, serie B, vol. 110, 2006, pp. 6027-6039.

egipcias y del Medio Oriente, y dicen de él que estaba menos interesado en conocer la composición exacta de los materiales antiguos que en obtener resultados de valor inmediato para los arqueólogos. Sirva este ejemplo para resaltar la importancia de realizar experimentos que nos permitan indagar en la historia de la pieza, no solamente en su composición. El estudio de los materiales antiguos nos permitirá saber más de los materiales utilizados, de las técnicas de fabricación y permitirá comparar materiales de distintos orígenes en el espacio y tiempo, para tratar de encontrar similitudes y diferencias; en suma, definir ciertas características comunes que identifiquen a un cierto grupo, es decir, una especie de marca o huella (en inglés *fingerprint*) química. Sin embargo esto no es fácil, y casi siempre se requieren muchos análisis de cantidad de piezas antes de poder sacar conclusiones.

Un tema bastante discutido es el de la técnica empleada para la pintura mural. Se habla de la técnica “al fresco”, donde los muros se preparan con una fina capa de hidróxido de calcio (cal apagada) y se aplican los pigmentos cuando aún el enlucido está húmedo. Esto requiere una gran habilidad y técnica por parte del artista. Cuando el enlucido se seca se combina con el CO₂ del aire y forma una capa de carbonato de calcio muy resistente, que protege al pigmento y lo hace muy resistente al paso del tiempo y a los agentes del medio ambiente. Se ha cuestionado si los murales prehispánicos estaban realizados usando la técnica “al fresco”, quizás con alguna variante, como añadir ciertos productos vegetales (gomas, resinas, etcétera), o bien estaban realizadas al “temple”. Este tema lo discutimos ampliamente con Constantino, que apuntaba por la técnica “al fresco”: “También nos faltaría conocer otros aspectos de la técnica utilizada por los pintores prehispánicos. Estoy se-

guro que emplearon la del FRESCO. Claro, habría que buscar otras maneras de demostrarlo, aparte de las que yo he realizado, pero esto es muy sencillo y no habrá ningún problema.” Constantino hacía siempre hincapié en la extrema dureza de los murales, tanto prehispánicos como coloniales, y propuso la prueba del cuchillo: “Habría que hacer decenas de pruebas para llegar a una conclusión [sobre la técnica empleada], y hacer la prueba del cuchillo de cazador para observar si penetra sin esfuerzo alguno, ya que la capa de CaCO₃ del pigmento casi es pétreo.”

Te llevaré un pedazo de un piso prehispánico de una zona nunca explorada por que fue destruida y nada queda de ella, excepto unos pedazos de los edificios, por los constructores del convento de Huatlatlahuca, Puebla, hayan sido franciscanos o agustinos en la tercera o cuarta década del siglo XVI. Es durísimo. ¿Fue al fresco? Pienso que sí, de otra manera no estaría tan extremadamente duro y compacto, como son también los pisos de otras zonas arqueológicas. Pienso que este sitio, pudo haber sido una especie de atalaya para vigilar las actividades de otras dos zonas que están enfrente, al otro lado del río Atoyac y en las cuales hay ruinas importantes, que no conozco, y en las cuales se han hallado pinturas y edificios importantes que apenas están siendo exploradas. Por otra parte, era una especie de frontera entre los mexicas o aztecas y los mixtecas, y sitio de aprovisionamiento de los mexicas en sus guerras y acciones de conquista y aprovisionamiento en sus planes de dominio de los pueblos del sur, hasta casi llegar a Guatemala. En el convento, primero franciscano y luego tomado por los agustinos en Huatlatlahuca, hay uno de los ejemplos casi, casi completos de la pintura mural del siglo XVI, con azul maya desde luego.

Medimos concentraciones de calcio usando técnicas de fluorescencia con rayos x y con PIXE (Particle Induced X-ray Emission), y como des-

cribimos en los artículos publicados⁵ encontramos para la mayoría de las muestras analizadas una concentración de calcio en torno a 40 por ciento, que coincide con el porcentaje de peso del calcio en el carbonato de calcio. Esto es compatible con la idea que las muestras fueron pintadas usando la técnica de pintura “al fresco”. Hubo dos excepciones, la primera una muestra de Cacaxtla que debía provenir de una decoración y no de un mural, ya que otras muestras de pintura mural de este sitio dieron resultados que apuntan a que era “al fresco”. La otra muestra era de Santa Cecilia Acatitlán. Le pregunté a Constantino por el origen de esta muestra, ya que en Santa Cecilia Acatitlán no se ve actualmente pintura alguna, y pensábamos que quizás no provenía de pintura alguna. He aquí su comentario:

[...] el pedazo de pintura de Santa Cecilia, me fue dado por Eduardo Pareyón, el arqueólogo que restauró el monumento hace más de 50 años. El lo conservaba y me lo dio cuando estuve haciendo las pruebas de resistencia. Pero no me acuerdo si hice la prueba con el hisopo de algodón. Pero si Pauline hizo la prueba con algodón húmedo y no se desprendió el color es probable que fuera fresco. Sólo probable. Ahora que el rayado ya complica más el asunto, porque un fresco no se raya así como así. Sin embargo, ya no es posible hoy conseguir más muestras, pues todo desapareció. Eduardo conservaba como recuerdo ese pedazo de mural, pero no sabía si había o hubo más pintura, porque todo estaba hecho trizas. Si se raya y desprende el color o se marca el rayado, tal vez sea temple. No recuerdo si tengo otro pedazo pero lo buscaré. Yo creo que por ahora se deja el artículo como está. Pero si

creo que debemos continuar las pruebas para determinar si la cantidad de carbonato de calcio es indicativo de un proceso al fresco.

Otro resultado interesante que salió de nuestros estudios de concentraciones se refería a una muestra de Cacaxtla con dos tonalidades de azul. La concentración de magnesio, que es un indicador de la presencia de palygorskita, es mayor en el azul más oscuro que en el más claro, indicando que probablemente el azul más claro fue obtenido diluyendo, quizás con agua de cal, un azul más oscuro.

También obtuvimos un resultado sorprendente. Encontramos que el azul de una muestra del convento de Jiutepec, en Morelos, no es azul maya, sino un compuesto que no pudimos identificar. Es un pigmento que no es resistente a los ácidos. Nos pareció interesante, y Constantino, siempre tan dispuesto, se propuso obtener más muestras. Después de conseguir los permisos oportunos, narraba:

El martes [27/04/2004] fui a Jiutepec a sacar nuevas muestras, pero, [...] qué cree? Le puse HNO₃ primero y luego HCl sobre la anterior, haciendo agua regia. Sorpresa, resistió todo y ya tiene 72 horas y el azul maya, porque tiene que serlo, sigue intocable por el agua regia. Estas muestras son de dos frisos del claustro bajo con grutescos en rojo y azul maya. Le enviaré estas muestras pero, me encontré también dos muestras de [...] 1983, compañeras de la que usted analizó una. Naturalmente, éstas no resistieron los ácidos, y se decoloraron salvo, una que también le enviaré con una gran interrogación en color rojo y que es de 1983. Por cierto, los lugares de donde tomé esas muestras ya desaparecieron pues eran de una bóveda caída que ahora las toneladas de ese escombros las amontonaron.

Ahí quedó la cosa: demostración *a posteriori* de la existencia de azul maya en Jiutepec, y la desilusión de no poder saber más sobre este

⁵ M. Sánchez del Río *et al.*, “Microanalysis Study of Archaeological Mural Samples Containing Maya Blue Pigment”, en *Spectrochimica Acta B* 59, 2004, pp. 1619-1625; M. Sánchez del Río, P. Martinetto, C. Solís, C. Reyes-Valerio, “PIXE Analysis on Maya Blue in Prehispanic and Colonial Mural Paintings”, en *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, agosto de 2006, pp. 628-632.

extraño azul, ya que el lugar fue completamente destruido. Sin embargo, es razonable pensar que este azul fuera de un pigmento reciente usado en alguna reconstrucción o restauración del lugar, o simplemente un repintado.

El análisis de varias muestras prehispánicas y coloniales nos permitió, con ayuda de herramientas estadísticas, poder asignar ciertas diferencias composicionales entre los dos grupos, el prehispánico y el colonial.⁶ Este es un buen principio para seguir investigando sobre este tema apasionante de la procedencia de los materiales, que daría pistas sobre relaciones entre culturas prehispánicas y sobre la herencia cultural de estas culturas que perdurara en la época colonial y que en muchos casos llega a nuestros días.

Un trabajo realizado sobre unas muestras de un salvamento en la ciudad de México⁷ nos llevó a pensar que pudiera haber diferencias importantes entre el pigmento azul mexica y el utilizado por los mayas. Ya en los años sesenta se descubrió que algunas piezas mexicas presentaban sepiolita, además o en lugar de palygorskita, y Anna Shepard se había preguntado por qué la sepiolita sólo aparecía en las piezas aztecas y nunca en las de la zona maya.⁸ Pensamos en un análisis con radiación de sincrotrón para estudiar la estructura, las fases minerales de los pigmentos. Cuando Constantino visitó el sincrotrón en mayo de 2006 (figura 3), discutimos ampliamente estas ideas. A su regreso a México obtuvo unas muestras excelentes del Templo Mayor,



Figura 3. Constantino, Catherine Dejoie (doctoranda del CNRS, Grenoble) y Manuel Sánchez del Río, doctor en Ciencias Físicas (Universidad de Zaragoza), en la cafetería del European Synchrotron Radiation Facility, el 31 de mayo de 2006, durante la visita que Constantino y su esposa Carolina hicieron a Grenoble, Francia.

que pudimos medir en septiembre. Los resultados obtenidos son muy interesantes, y del análisis que estamos realizando, que publicaremos próximamente, se concluye que efectivamente las arcillas usadas por los mexicas son muy diferentes de las mayas. Sin duda los mexicas heredaron de los mayas la tecnología para fabricar el azul maya, pero supieron innovar encontrando variedades diferentes en los materiales empleados, y probablemente explotaron yacimientos nuevos de las arcillas.

El camino por recorrer

La disponibilidad de Constantino, su interés por la investigación, su sabiduría, su capacidad de motivar ha hecho que hayamos podido vivir juntos estos últimos años una maravillosa aventura, tratando de descifrar algunos de los misterios que encierra la cultura y la sabiduría de los antiguos mayas. Gracias al azul maya, y a Constantino, hemos abierto varias líneas de investigación que tratan no sólo del azul maya, sino que nos han llevado también por caminos diferentes. Uno es el

⁶ M. Sánchez del Río, P. Martinetto, C. Solís y C. Reyes-Valerio, "PIXE análisis...", *op. cit.*

⁷ M. Sánchez del Río, A. Gutiérrez León, G. R. Castro, J. Rubio Zuazo, C. Solís, R. Sánchez Hernández, J. Robles Camacho y J. Rojas Gaytán, *Synchrotron powder diffraction on Aztec blue pigments*, *Journal Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 2007, en prensa.

⁸ A. O. Shepard, "Maya Blue: Alternative Hypothesis", en *American Antiquity*, vol. 27, 1962, pp. 565-566.

estudio de las arcillas con estructura a canales, como la palygorskita y la sepiolita. Hemos contado con el consejo, colaboración y ayuda de las geólogas Mercedes Suárez y Marisa García-Romero para incluir las palygorskitas mexicanas y profundizar más en la estructura de estas arcillas.⁹ Vimos también¹⁰ que el papel del hierro no parece tan fundamental en el azul maya como se había supuesto en el pasado, y que la presencia de este elemento se debe a que se encuentra como impureza en la palygorskita. La palygorskita es un mineral difícil, su estructura es compleja, y todavía dará lugar a mucho que hablar. Una misión por realizar es la búsqueda de palygorskita en México. Sólo se conocen los yacimientos de Yucatán, más algún otro lugar al norte de la república, probablemente inaccesible por los antiguos. Encontrar nuevos yacimientos con palygorskita en el valle de México, quizás también en los estados de Puebla y Oaxaca, puede dar lugar a descubrimientos importantes relacionados con la antigua minería prehispánica. El azul maya, donde el índigo orgánico aporta el color y la arcilla la resistencia química, es un ejemplo de lo que hoy se conoce como materiales híbridos. Son materiales de síntesis, programados para conseguir ciertas propiedades similares a alguno de los ingredien-

tes, pero globalmente diferentes a cada uno de ellos. El mezclar orgánicos e inorgánicos no es nuevo, pero sí el obtener nuevas propiedades basadas en la combinación de los ingredientes a nivel microscópico. Cuando se llegan a controlar estas interacciones nanométricas, se pueden producir nuevos materiales con las propiedades deseadas. Por ejemplo, las pantallas de ciertos televisores de última generación están recubiertos por materiales híbridos donde el índigo está atrapado en matrices de sílice y circona.¹¹ Este material no es muy distinto al azul maya, producido hace más de 12 siglos, y quizás el primer compuesto híbrido de la historia. En esta línea de obtener pigmentos resistentes similares al azul maya los doctores Eric Dooryhée y Pauline Martinetto, y la doctoranda Catherine Dejoie, han lanzado una línea de investigación en el CNRS de Grenoble para producir pigmentos híbridos combinando el índigo con zeolitas sintéticas.¹²

Hemos iniciado un camino, pero todavía queda mucho por recorrer mirando hacia el futuro, y también al pasado, para recuperar la sabiduría de nuestros antepasados. El recuerdo a Constantino, su ejemplo y guía, nos ayudará en este camino y podremos decir con él: en fin, seguiremos en la brecha del azul maya.

⁹ M. Sánchez del Río *et al.*, "Mg K-edge XANES of Sepiolite and Palygorskite", en *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, vol. 238, 2005, pp. 55-60; M. Suárez *et al.*, "The Effect of the Octahedral Cations on the Dimensions of the Palygorskite Cell", en *Clay Minerals*, vol. 42, núm. 3, septiembre de 2007, pp. 287-297.

¹⁰ M. Sánchez del Río *et al.*, "Fe K-edge XANES of Maya Blue Pigment", en *Nuclear Instruments and Methods...*, *op. cit.*, pp. 50-54.

¹¹ P. Gómez-Romero y C. Sánchez, "Hybrid Materials. Functional Properties. From Maya Blue to 21st Century Materials", en *New Journal of Chemistry*, vol. 29, 2005, pp. 57-58.

¹² C. Dejoie, *Synthèse et caractérisation d'analogues au pigment "Bleu Maya": coloration à l'indigo de matrices aluminosilicates*, Grenoble, 2006.



CVR a la edad de tres años (1924).



CRV a la edad de diez años (1931).