NATIONAL MUSEUM OF THE AMERICAN INDIAN

EDUCATION OFFICE

Q'eswachaka

UNA MARAVILLA DE INGENIERÍA INKA

Q'eswachaka

UNA MARAVILLA DE INGENIERÍA INKA[1]

GRADOS: 5–8 | TIEMPO RECOMENDADO: DOS PERÍODOS DE CLASE

Introducción

Este afiche se enfoca en el puente de hierba *Q'eswachaka*[2]—un componente clave del sistema del Gran Camino Inka y el legado viviente de la ingeniería del Imperio Inka.

El afiche incluye:

- Introducción general al Imperio Inka y la red del Gran Camino Inka
- Actividades para los estudiantes que destacan los aspectos de ingeniería de un puente colgante
- Q'eswachaka como un ejemplo único de sostenibilidad dentro de un contexto del medio ambiente, de la ingeniería y de las perspectivas culturales
- Perfil del único maestro de puentes en existencia, Victoriano Arizapana Huallhua, quien dirige cuatro comunidades *quechuas* en la renovación anual del puente de hierba
- Justificación de la importancia de preservar el Q'eswachaka para las generaciones futuras

Conocimiento Nativo 360° | Estándares curriculares para estudios sociales

- NMAI Comprensión esencial 3 | Personas, lugares y ambientes
- NMAI Comprensión esencial 8 | Ciencia, tecnología y sociedad

Estándares de educación nacionales para ciencia

- E1.1 Capacidades de diseño tecnológico, incluyendo evaluar diseños y productos tecnológicos terminados; comunicar el proceso de diseño tecnológico
- F5.4 Ciencia y Tecnología en los desafíos locales, incluyendo la ciencia y obras de ingeniería en muchos entornos diferentes

Estándar de ciencia para la próxima generación

- Práctica 2: Desarrollo y uso de modelos
- Práctica 6: Construyendo explicaciones (para ciencia) y diseñando soluciones (para ingeniería)

Objetivos del estudiante

Los estudiantes:

- Aprenderán información general del Imperio Inka y la importancia del sistema del Gran Camino Inka
- Explorarán los conceptos de ingeniería de tensión y compresión
- Probarán la capacidad de carga de diseños de dos puentes: de tablas y suspensión
- Comprenderán el significado cultural del Q'eswachaka

[1] En un esfuerzo por preservar y honrar las lenguas indígenas, el NMAI optó por utilizar la ortografía quechua, Inka, en lugar de Inca.
[2] Q'eswachaka (*q'eswa* que significa "hierba trenzada" y *chaka* que significa "puente" en la lengua quechua) se pronuncia khes wah CHAH Kah.

PROCEDIMIENTO

I. Despliegue el afiche en el salón de clases. Explique a los estudiantes que ellos van a aprender acerca de las prácticas de ingeniería y culturales de un puente colgante de hierba de diseño Inka.

II. Utilice el material de referencia en este afiche, "*Tawantinsuyu*—El Imperio Inka" y "*Qhapaq Ñan*—El Gran Camino Inka" para proporcionar a los estudiantes con un resumen general del Imperio Inka y la red del Gran Camino Inka. Pida a los estudiantes que utilicen Google Earth™ y el mapa provisto en el afiche para identificar la extensión durante el período histórico y la topografía del Imperio Inka. Puede encontrar el plan de lección completo, preguntas de discusión y una lista de recursos en http://AmericanIndian.si.edu/nk360/resources/inka-plan-de-leccion.pdf

III. Puede encontrar el afiche completo en http://AmericanIndian.si.edu/nk360/resources/inka-poster-esp.pdf

Este afiche cuenta con apoyo federal del Fondo de Iniciativas Latino, administrado por el Centro Latino de la Institución Smithsonian.

Reconocimientos

Escritora e Investigadora de contenido:
Dr. Isabel Hawkins

Directora del proyecto y Editora de contenido:
Vilma Ortiz-Sánchez, NMAI

Director Interino de Educación:
Edwin Schupman, NMAI

Editora: Faith Marcovecchio

Traductora Inglés/Español:
Anaida Morales-Droz

Diseño y Producción:
Groff Creative (groffcreative.com)

Ilustraciones: Mary Ellen Hawkins (maryellenhawkins.com)

Crédito de fotografía de portada:
Doug McMains, NMAI, 2014

Crédito de fotografía en la página 1:
Joseph Dutra, 2014

Crédito de fotografías en la página 2:
Doug McMains, NMAI, 2014

I *Tawantinsuyu* —El Imperio Inka

En menos de 100 años, desde 1438 a 1533, los Inka construyeron el *Tawantinsuyu*[3] (ta wahn tin SU yu), uno de los imperios más sofisticados del mundo. Hoy en día, más de 7 millones de pueblos indígenas quechuas y aymaras son los descendientes directos del Imperio Inka, el cual creció de un pequeño reino en los Andes a principios del siglo 13 para convertirse en una civilización próspera. A través de la asimilación pacífica y la guerra, los Inka expandieron su imperio para incluir grandes territorios del actual Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia, Chile y Argentina. Un sistema de gobierno basado en la redistribución de los recursos y el concepto andino de *ayni* o reciprocidad, permitió que el imperio prosperara hasta la conquista española en el medio del siglo 16. La ciudad del Cusco fue el centro administrativo y religioso del mundo Inka. Los Inka construyeron un sistema de caminos que se extendía desde la plaza principal del Cusco a las cuatro regiones del Tawantinsuyu. El *Qhapaq Ñan* (Khah Pahk NYAN), o el sistema del Gran Camino Inka, fue el proyecto de construcción más grande en el hemisferio occidental durante el apogeo del poder Inka. La arquitectura monumental, la agricultura de terracería o andenes, las infraestructuras sofisticadas del manejo de agua y almacenamiento de alimentos, y la domesticación de miles de variedades de papas y cientos de variedades de quinua y maíz son algunos de los otros logros sorprendentes de los Inka. Hoy en día, las comunidades indígenas andinas están orgullosas de su herencia y aún viven de manera sostenible y en equilibrio con el entorno natural.

Machu Picchu en los Andes de Perú. Una de las muchas ciudades del gobernante Inka. Fotografía por José Barreiro, NMAI, 2008.

[3] Tawantinsuyu significa "cuatro partes juntas" en la lengua quechua.

Mapa de América del Sur que muestra el Tawantinsuyu, Cusco, el sistema de caminos Qhapaq Ñan, y las fronteras políticas actuales y capitales de los seis países que fueron históricamente parte del Imperio Inka.

Hatunrumiyoc, una pared de ingeniería Inka en el Cusco, Perú, mostrando piedras meticulosamente talladas que encajan perfectamente entre sí sin el uso de mortero. Fotografía por Doug McMains, NMAI, 2014.

Muchas de las variedades de papas en el mercado en Pisac, Perú. Fotografía por Doug McMains, NMAI, 2014.

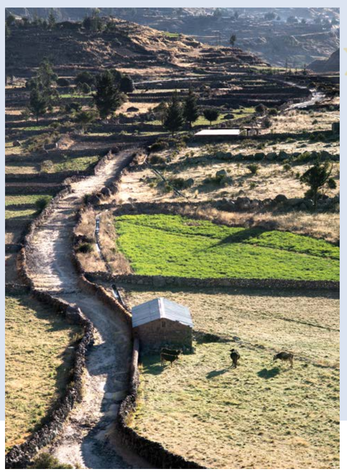
II *Qhapaq Ñan* —El Gran Camino Inka

"Los Inka construyeron caminos por todos lados para unir los pueblos del mundo. El camino es una cuerda que une a las comunidades y nos permite vivir como una sola familia".

—Panfilo Sulca (quechua), Sarhua, Ayacucho, Perú, 2010

El Qhapaq Ñan fue construido sin el uso de metal o de hierro, la rueda, o animales de tiro y abarcó 25,000 millas (40,000 kilómetros) por todo el Tawantinsuyu. La red vial permitió que los Inka supervisaran y administraran un territorio de un tamaño equivalente al abarcado por California, Nevada, Arizona, Nuevo México y Tejas. Esta extraordinaria red de caminos serpentea por la costa del Pacífico de América del Sur, desde Quito, Ecuador, a Santiago, Chile, atravesando una de las geografías físicas más extremas del planeta, desde picos de 16,000 pies (4,900 metros) cubiertos de nieve hasta la costa, pasando por selvas, pastizales y desiertos. Partes del sistema de caminos fueron construidas por culturas que precedieron el Imperio Inka, pero los Inka perfeccionaron la red de caminos en una maravilla de la ingeniería que apoyó el transporte, la comunicación y el comercio. Los ingenieros Inka entendían el flujo de agua, la acción de la fuerza de gravedad y la erosión del viento y optimizaron el diseño del camino para el tráfico peatonal humano y animal. Se estima que un 6% de la red de caminos Inka es aún visible, y los caminos existentes, los cuales siguen siendo utilizados y mantenidos por las comunidades indígenas andinas hoy en día, se están estudiando para comprender las técnicas de ingeniería Inka y su aplicación a los proyectos contemporáneos.

Desde los tiempos Inka, el Qhapaq Ñan ha sido utilizado por personas y llamas. Fotografía por Alex E. Nielsen, 2011.



Una sección del Qhapaq Ñan serpentea entre los campos y pueblos agrícolas en Perú. Fotografía por Doug McMains, NMAI, 2014.

Una familia camina a lo largo del Qhapaq Ñan en Jujuy, Argentina. Fotografía por Alex E. Nielsen, 2007.

III El Puente Q'eswachaka

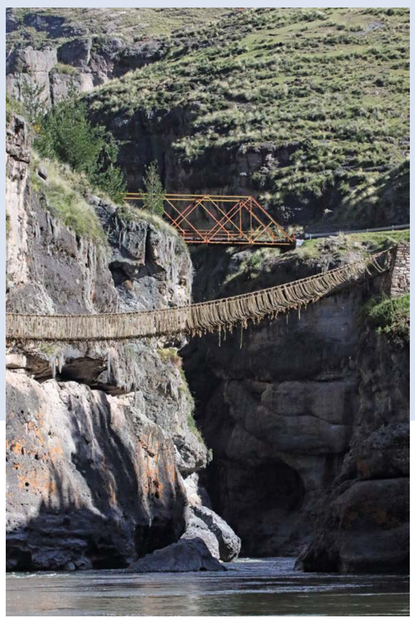
"El Q'eswachaka es el puente más sostenible que conozco. Es completamente renovable y hecho de materiales biodegradables locales que son arrastrados por el río todos los años… pisando muy ligeramente en la Tierra".

—Dr. John Ochsendorf, profesor de ingeniería del Massachussetts Institute of Technology.

Los exploradores españoles admiraron la variedad de puentes a lo largo del Qhapaq Ñan. En particular, los europeos nunca habían visto un puente colgante y se sorprendieron al encontrar cientos de ellos a lo largo del sistema del Camino Inka. El Q'eswachaka, el último puente colgante de hierba Inka, se extiende por un alto barranco sobre el río Apurímac en el Perú y ha estado en uso continuo durante 500 años. El puente mide 100 pies (30 metros) de largo y está suspendido a 50 pies (15 metros) por encima del río. Está hecho de fibras de hierba y otros materiales orgánicos. Cada año, 1,000 pobladores de las cuatro comunidades vecinas quechuas se reúnen, tuercen, y trenzan a mano una hierba nativa para hacer 10 millas (16 kilómetros) de la cuerda y luego trabajan continuamente durante cuatro días para reconstruir el puente. El pedir permiso a los *Apus* (montañas sagradas) y hacer ofrendas a la *Pachamama* (Madre Tierra) son actividades importantes que se llevan a cabo en conjunto con la reconstrucción del puente. La comunidad también realiza una fiesta para celebrar el nuevo puente. El Q'eswachaka es un componente clave del Qhapaq Ñan y una obra maestra de la ingeniería Inka. También sirve como un ejemplo importante de la ingeniería sostenible, una expresión viva de los conocimientos, las prácticas y tradiciones que se han transmitido a través de generaciones del pueblo quechua en los Andes.

"Encontramos puentes como redes sobre un río muy grande y poderoso… que era una cosa maravillosa de ver".

–Francisco Xérez, Asistente de Francisco Pizarro, 1534



El puente moderno que se ve en el fondo es utilizado por los coches para cruzar el río. El Q'eswachaka en el primer plano es utilizado por la población local. Fotografía por Jeremy Cornejo Moscoso, 2015.

Dibujo de un puente colgante Inka sobre el Río Pampas en Ayacucho, Perú, 1877 por Ephraim George Squier (1821–1888). Perú: Incidentes de Viaje y Exploración de la Tierra de los Incas. Cortesía de las Bibliotecas de la Institución Smithsonian, Washington, D.C.

IV La ingeniería del Q'eswachaka

Los puentes colgantes representan la tecnología única y original de la ingeniería Inka. El Q'eswachaka es un ejemplo importante de sostenibilidad desde puntos de vista ambientales y de ingeniería.

Material de construcción: El puente está construido con materiales fuertes, cosechados localmente, y totalmente biodegradables. Los Inka manejaban una gran variedad de materiales fibrosos tales como hierba, algodón, lana de llama y de otros camélidos. Por lo tanto, era natural que los Inka encontraran una solución de ingeniería utilizando una fibra de hierba abundante y local que pudiera ser tejida para hacer soga. Las fibras individuales de hierba se pueden romper y rasgar fácilmente, pero al torcerlas y trenzarlas entre sí se obtiene un material más fuerte y más flexible. Esto se debe a que la resistencia del material aumenta cuanto más elementos haya para compartir la carga, o las fuerzas, que actúan sobre ellos.

Fuerzas de tensión: En los puentes colgantes, incluyendo al Q'eswachaka, los cables trabajan a través de tensión o fuerza de tracción. Sin embargo, si se tira de un cable demasiado, se romperá. Los Inka entendieron esto y utilizaron el concepto de ingeniería de la resistencia a la tracción o fuerza de tensión. La resistencia a la tracción de un cable de hierba, o lo mucho que se puede tirar desde direcciones opuestas antes de que se rompa, es crítico. Los constructores de puentes también sabían lo mucho que los cables pueden ser estirados por el peso del tráfico peatonal sobre el puente. La fuerza de tensión de una cuerda de hierba depende del tipo de hierba, la cantidad de hierba que se utiliza para hacerla, y la forma en que se tuerce y trenza junto con otras cuerdas. ¿Puedes adivinar cuán grande es la carga que puede sostener el cable más grande del Q'eswachaka antes de romperse? Cada cable principal, tan grueso como el muslo de un hombre, puede sostener 5,175 libras o 2,347 kilogramos, ¡más que el peso de un automóvil promedio o el peso combinado de 12 llamas!

En puentes colgantes modernos, como este puente en la ciudad de Kobe, Japón (arriba, #13120131, iStock by Getty Images), la calzada cuelga de cables suspendidos de torres. El suelo de los puentes colgantes Inka tales como el Q'eswachaka (abajo, fotografía por Jeremy Cornejo Moscoso, 2014) está formado por los propios cables.

V Sé un fabricante de puentes / Tensión vs. Compresión

No existían puentes colgantes en Europa en la época del Imperio Inka; más bien, los europeos construyeron puentes de arco de piedra. A pesar de que los puentes colgantes pueden abarcar distancias más largas, los ingenieros europeos no construyeron este tipo de puente por otros 300 años. En puentes colgantes, las fuerzas de tensión son lo más importante, mientras que en los puentes de arco, las fuerzas de compresión son lo que domina. Las fuerzas de tensión tiran y estiran el material en direcciones opuestas, lo que permite que un puente de soga se sostenga a sí mismo y la carga que lleva. Las fuerzas de compresión aprietan y empujan el material hacia el interior, haciendo que las rocas de un puente de arco presionen una contra la otra para soportar la carga. Ambos tipos de puentes se basan en los pilares, los componentes del puente que absorben la presión y la disipan en la Tierra. En el caso del puente Q'eswachaka, los pilares están hechos de rocas masivas donde están atados los cables principales del puente.

ACTIVIDAD PARA EL ESTUDIANTE:

¡Vamos a experimentar las fuerzas de tensión y de compresión!

Pídele a tu compañero que trabaje contigo para demostrar la Fuerza 1 y la Fuerza 2 como se muestra en las siguientes ilustraciones. A medida que trabajas con tu compañero, ¿puedes sentir en qué dirección se dirigen las fuerzas? Basado en las definiciones dadas anteriormente, ¿cuál fuerza es tensión y cuál es compresión?

Fuerza 1

Fuerza 2

Mira las imágenes de puentes a la derecha. ¿Puedes aparear la Fuerza 1 y la Fuerza 2 con cada tipo de puente? ¿Cuál puente actúa principalmente a través de las fuerzas de compresión? ¿Cuál puente actúa principalmente a través de las fuerzas de tensión?

Explica por qué y justifica tus opciones. Ahora piensa en cómo se sentía al experimentar estas fuerzas. Al alejarte de tu pareja, ¿a qué forma se asemejan tus cuerpos? ¿Qué pasa cuando empujas contra las manos de tu compañero?

Observa que cuando te alejas de tu pareja, tus cuerpos forman una curva suspendida al igual que el puente Q'eswachaka, y cuando se empujan uno hacia el otro, tus cuerpos forman un arco al igual que el puente de Taft.

Puente Q'eswachaka. Fotografía por Doug McMains, NMAI, 2014.

Puente Taft en Washington, DC. Fotografía por Dan Davis, NMAI, 2015.

ACTIVIDAD PARA EL ESTUDIANTE:

Construye un puente de suspensión

¿Qué clase de puente construirías con los siguientes materiales?

- 1 pedazo rectangular de cartón de aproximadamente 4 pies (1.2 metros) de largo por 1 pie (0.3 metros) de ancho
- 2 sillas

Por ejemplo, puedes colocar las dos sillas una frente a otra y el cartón entre las sillas. Esto se conoce como un puente de viga o de tablas. Este tipo de puente no es muy fuerte. Pruébalo colocando una carga pesada (una pila de libros) en él, y ve cuántos puede sostener antes de que se derrumbe (Figura 1). ¿Qué fuerzas están en juego principalmente en este tipo de puente, compresión o tensión?

Para hacer que el puente de viga sea más fuerte, modifícalo para que se convierta en un puente colgante. Incluye los siguientes materiales.

- 2 trozos de soga, alrededor de 9 pies (2.75 metros) de largo cada una
- 12 trozos de cuerda, alrededor de 2 pies (0.6 metros) de largo cada una

Estira las sogas por encima del cartón, en los respaldos de las sillas, y pídele a dos amigos que tiren fuertemente sentándose en el suelo detrás de cada una de las sillas (Figura 2).

Ata los topes de 6 trozos de cuerda a una de las sogas, a intervalos igualmente espaciados entre las dos sillas. Haz lo mismo con las otras longitudes de cuerda, pero en la otra soga. Asegura los cabos sueltos de las cuerdas con cinta adhesiva debajo del cartón. (Figura 3).

Ahora tienes un puente colgante. Pídele a tus amigos que tiren de las sogas detrás de cada una de las sillas a medida que colocas libros encima del puente. Experimenta con la fuerza de tracción y con varias cargas para poner a prueba tu puente.

¿Qué fuerzas están en juego principalmente en este tipo de puente, compresión o tensión? ¿Dónde se sienten las fuerzas a medida que agregas más libros? ¿Cómo se asemeja y cómo se diferencia este puente del Q'eswachaka?

Figura 1

Figura 2

Figura 3

VI Conoce un *Chakacamayuc*

"Por supuesto que le enseñamos a nuestros niños y jóvenes todo lo que hacemos y lo que nuestro puente significa para nosotros. Les pido que continúen con nuestra tradición, y que no dejen que nada de esto desaparezca".

—Victoriano Arizapana Huallhua, Chakacamayuc (Maestro del puente), 2015

Victoriano Arizapana Huallhua—Chakacamayuc (chah kah kah MAH yuk), una palabra quechua que significa "maestro del puente", tiene 51 años de edad y es miembro de la comunidad de Huinchiri en el Perú. Don Victoriano es quechua, descendiente de los Inka. La cultura de Don Victoriano es vibrante y fuerte, y ha evolucionado y se ha adaptado durante los últimos 500 años, desde la época del Imperio Inka. El lenguaje, la tradición y una profunda conexión con el paisaje natural que lo rodea siguen dando forma a su visión del mundo y la de su comunidad. Don Victoriano organiza cuatro comunidades cercanas que participan en la renovación anual del puente de hierba Q'eswachaka. Dirige y supervisa todos los aspectos del proceso de la construcción de puentes y organiza la fiesta culminante. Don Victoriano heredó la responsabilidad del mantenimiento y la renovación anual del puente de su padre y su abuelo antes que él. Ahora Don Victoriano está pasando este conocimiento a su hijo. El Q'eswachaka es un ejemplo importante de continuidad cultural.

El Chakacamayuc (Experto en puentes) representado aquí cumplió un papel durante tiempos Inka bien similar a las responsabilidades de Don Victoriano hoy en día. Dibujo de El Primer Nueva Corónica y Buen Gobierno, 1615 por Felipe Guaman Poma de Ayala (Quechua, ca. AD 1535-1616). Biblioteca Real, Copenhague (GKS 2232 4°).

Don Victoriano comparte una historia del Q'eswachaka

Cómo el Q'eswachaka castigó a los invasores españoles

"Esta es una historia que mi abuelo me dijo cuando yo era un niño. Nuestro puente tiene más de 500 años y en ese momento los españoles habían llegado a estas tierras y estaban persiguiendo y matando a nuestros antepasados Inka. Entonces, nuestros inteligentes antepasados Inka se organizaron para contrarrestar y frenar a los conquistadores españoles. Mis antepasados corrieron por el Q'eswachaka con los españoles en estrecha persecución. Cuando los españoles estaban cruzando el puente, nuestros ancestros cortaron las cuerdas y el puente cayó en el río mucho más abajo, castigando y matando a muchos de ellos. Esto es, en efecto, lo que hicieron mis antepasados y esta es la forma en que se salvaron usando nuestro puente. Después de un tiempo, ellos reconstruyeron el puente".

Chacacamayuc Victoriano Arizapana Huallhua. Fotografía por Jeremy Cornejo Moscoso, 2015.

"Q'eswachaka inkanchispa wayrampas animunpas kanman hinaya noqaykupaq kay chakayku".

"El Q'eswachaka es el alma y el espíritu de nuestros antepasados Inka, tocándonos y acariciándonos como el viento".

—Victoriano Arizapana Huallhua, Chakacamayuc (Maestro del puente), 2015