

Nuevas tendencias en el estudio de los caminos

EDITADO POR

Sofía Chacaltana

Elizabeth Arkush

Giancarlo Marcone

Ministro de Cultura

Salvador del Solar Labarthe



PERÚ

Ministerio de Cultura

Viceministro de Patrimonio Cultural e Industrias Culturales

Jorge Ernesto Arrunátegui Gadea

Coordinador General del Proyecto Qhapaq Ñan – Sede Nacional

Giancarlo Marcone Flores



Nuevas tendencias en el estudio de los caminos

Sofía Chacaltana, Elizabeth Arkush y Giancarlo Marcone (editores)

Editado por el Ministerio de Cultura

Proyecto Qhapaq Ñan - Sede Nacional

Avenida Javier Prado Este 2465, San Borja, Lima 41

Teléfono: (511) 618 9393 / anexo 2320

Email: qhapaqnan@cultura.gob.pe

www.cultura.gob.pe

Primera edición, Lima, agosto 2017

500 ejemplares

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2017-09781

ISBN 978-612-4126-90-1

Diseño y diagramación

Edítalo SAC

Centenario 179-509A, Barranco, Lima 04


Impresión

Gráfica Industrial R&S

Mz. J Lote 5 calle Morococha, Urbanización Aprovisa. La Molina

Telf.: 326 5537

Agosto 2017



**Ejes de articulación:
análisis de la red
espacial del Qhapaq
Ñan en el sur del Perú**



STEVEN A. WERNKE

GABRIELA ORÉ MENÉNDEZ

CARLA HERNÁNDEZ GARAVITO

SCOTTI M. NORMAN

LAUREN E. KOHUT

LAWRENCE WALLER

VIOLETTA VYLEGZHANINA

VANDERBILT UNIVERSITY, ESTADOS UNIDOS

GIANCARLO MARCONE FLORES

PROYECTO QHAPAQ ÑAN –
SEDE NACIONAL, PERÚ

Como se ve reflejado en el propio nombre del dominio incaico, el Tawantinsuyu constituyó una resignificación y reconfiguración del espacio andino. La Red Vial Inca, el Qhapaq Ñan, fue el componente principal de la integración de este paisaje imperial. Es más, el Qhapaq Ñan era en sí mismo un espacio diseñado y destinado para fines estatales: no solamente habilitaba el tránsito, también lo controlaba y vigilaba. Los incas se aprovecharon de estas capacidades intrínsecas de los caminos para canalizar el flujo de tráfico y para constreñir y envolver al viajante a un espacio estatal de acceso restringido.

Sin embargo, los incas también se enfrentaban a un paisaje milenario. Lejos de ser una *tabula rasa*, el paisaje estaba cubierto por una densa red de caminos antiguos. Varios observadores han comentado que gran parte del Sistema Vial de Tawantinsuyu fue diseñado sobre la base de caminos ya existentes; no obstante, queda como pregunta saber cuáles fueron los criterios tomados en cuenta para reutilizar o modificar ciertos caminos y no otros. Poco a poco nos hemos acercado a una respuesta a nivel global sobre este sistema, pero es evidente que el espacio del Tawantinsuyu no se concebía como una sola red, sino como una serie de redes superpuestas con distintos fines, significancias y funciones: una red de centros de peregrinaje, una red de cumbres sagradas, una red de centros rituales, una red de centros de producción agrícola, una red de centros administrativos, entre otras. Parte del reto analítico de estudiar el Qhapaq Ñan es entonces, precisamente, *desenredar* esas redes, a pesar de que se integraron a través de una conexión o enlace básico: los caminos del Qhapaq Ñan.

Estudios previos sugieren que las ubicaciones de los centros administrativos regionales se deben a sus posiciones en la red imperial más que a su articulación con centros poblados locales o a factores medio ambientales. Parece claro que las posiciones de los grandes centros en el núcleo del Tawantinsuyu, como Hatunqolla (Julien 1993), Vilcashuamán (Jenkins 2001), Huánuco Pampa (Morris 1982; Morris y Thompson 1985), Hatun Xauxa (D'Altroy 1992; Earle y D'Altroy 1989) y Pumpu (LeVine 1987, 1992) fueron favorables en cuanto la red imperial interregional. Sin embargo, son muy pocos los análisis o modelos formales y cuantitativos que han analizado la organización del Qhapaq Ñan y estas redes. Así, los trabajos de Jenkins (2001) y Astuhumán (2008) se distinguen como contribuciones pioneras en esta dirección. Jenkins acercó al problema a nivel global con un análisis basado en la teoría de grafos, utilizando el plano esquemático del Sistema Vial Inca levantado por Hyslop (1984) como base. Jenkins se enfocó en medir la centralidad de centros administrativos a nivel global.

Las cifras de centralidad (*degree centrality*, *closeness centrality* y *betweenness centrality*) de los centros administrativos y de las facilidades de almacenaje (complejos de *colcas*) fueron ubicadas en dos extremos de la red: en zonas de alta centralidad y en zonas de baja centralidad. Se infirió que este patrón se debe a dos tipos (ideales) de financiamiento: de materia prima (es decir, de productos básicos o *staple finance*) y de bienes suntuarios (*wealth finance*). Sobre todo, se arguyó que los centros administrativos fueron ubicados de acuerdo al diseño de esta red de escala amplia antes que debido a factores locales. Pero el modelo no admitía muchas interpretaciones alternativas, ya que la base de datos se enfocó en los sitios de primer orden, y el plano de Hyslop, a pesar de su incuestionable valor, es reconocido por ser incompleto y somero.

Por otro lado, los análisis realizados por Astuhumán proporcionaron una vista regional y más detallada del norte del Perú. Su investigación produjo una imagen más compleja (Astuhumán 2008: 246). Por ejemplo, aunque los sitios incaicos mayores ubicados en la zona de estudio (Mitupampa, Caxas, Huancabamba y Aypate) sí tienen mayor centralidad de grado (*degree centrality*), no presentaron cifras uniformemente altas de centralidad entre pares (*betweenness centrality*). Astuhumán presenta una visión más sutil de las relaciones entre los centros administrativos y las divisiones y patrones de asentamiento de las etnias regionales. Esta granularidad del análisis empieza a demostrar cómo la red de caminos y sitios imperiales se desarrolló paralelamente a modo de un fenómeno emergente y siguiendo un plan maestro imperial.

Lo que comparten estas importantes investigaciones previas es, sobre todo, su marco de teoría de grafo. Lo que aún no se había intentado hacer —hasta cierto punto debido a las limitaciones tecnológicas de la época— era modelar el movimiento en un mismo espacio cartográfico: es decir, simular flujos de tráfico por la red vial tal como esta se sitúa en el paisaje. Con grandes esfuerzos del Proyecto Qhapaq Ñan se ha logrado registrar un plano base mucho más completo y nítido de la red de caminos incaicos, ello gracias a que las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) hacen posible conectar los tramos registrados y simular patrones de tráfico a nivel interregional. A continuación, presentamos una metodología para este tipo de modelación junto a simulaciones de acumulación de flujos de tráfico en el sur del Perú.

Concepto del proyecto

El concepto general de este proyecto es bastante sencillo. El registro de miles de kilómetros de caminos de la época incaica por el Proyecto Qhapaq Ñan ha resultado en el plano más completo del Sistema Vial Inca hasta la fecha (figura 1). Sin embargo, los tramos registrados están intercalados con tramos no registrados y tramos desaparecidos por degradaciones o modificaciones subsecuentes. La intención de este proyecto es conectar los tramos registrados por el Proyecto Qhapaq Ñan con rutas óptimas (*Least Cost Paths*, en lo sucesivo LCP), crear un tema de datos de red (*network dataset*) y simular flujos de tráfico a distintos destinos en la red, utilizando las herramientas disponibles de la extensión Network Analyst en ESRI ArcGIS. Una vez completo, este plano representará el modelo más completo y preciso de la red de caminos incaicos en el Perú.

El proyecto surgió como colaboración con el Proyecto Qhapaq Ñan del Ministerio de Cultura del Perú, y por eso los datos no pasan de las fronteras del país. Hasta la fecha, el modelo aborda el sur del Perú. Se empezó al extremo sur y se hizo el procesamiento de datos de sur a norte. Por ahora, el modelo se extiende desde Tacna a Pisco en la costa, y desde la zona de Desaguadero a Huancayo en la sierra. Estos límites provisionales de cobertura son productos del tiempo y de los recursos disponibles. Nuestra intención es completar la cobertura total del Perú en futuros estudios.

FIGURA 1. Tramos de caminos registrados por el Proyecto Qhapaq Ñan



Advertencias acerca del alcance y los límites del modelo

Es importante advertir lo que el modelo pretende y no pretende hacer. Comparte mucho en común, por ejemplo, con la red geoespacial del mundo romano de la Universidad de Stanford (2014). Como Scheidel, Meeks y colegas han observado, siguiendo a Braudel, “la lucha contra la distancia [...] es el primer enemigo de la civilización premoderna” (Scheidel *et al.* 2012: 7; traducción nuestra). Aunque en el plano teórico no privilegiamos los impedimentos de la distancia u otros factores físicos —en comparación a factores o procesos políticos o ideológicos, por ejemplo—, es claro que la fricción de distancia era ineludible en procesos de expansión, incorporación y administración imperial arcaica. Como formación político-económica, el Tawantinsuyu claramente se puede clasificar como “Imperio”, pues constituyó un sistema integral —siempre improvisado frente a una vertiginosa diversidad de condiciones y respuestas locales— desde un punto de vista central. Nosotros estamos interesados en cómo se vería el sistema desde una perspectiva céntrica —o, si se quiere, desde “arriba”—. De todas formas, aunque la perspectiva fuese desde “arriba”, hay que ser conscientes de los procesos bidireccionales en la emergencia del sistema, como bien lo ha señalado Astuhamán en su análisis de redes en el norte, discutido previamente. Con estas especificaciones, es válido y esencial decir que la red vial del Qhapaq Ñan hizo posible transitar y hasta controlar productos, ganado, información y millones de habitantes a través de un vasto y diverso paisaje.

Así, el modelo intenta simular el **agregado** o el **promedio** de los flujos de tráfico.

Es decir, prioriza promedios o tendencias probables sobre escenarios particulares o preferencias de tránsito, los cuales son casi imposibles de visualizarse de todas maneras. Los resultados no tratan de reproducir la experiencia de un viajero específico, sino cómo las experiencias promedio de una gran cantidad de viajeros producirían conocimiento y, con el tiempo, el manejo central de rutas. Por eso, se presume que el sistema tomó forma a través del conocimiento acumulado de costos y tiempos promedios de tránsito sobre el largo plazo.

Con el alcance amplio del modelo y las limitaciones inherentes del registro en el campo, este se enfoca en los caminos primarios y secundarios. Centenares de miles o millones de kilómetros de caminos locales entrecruzan el ámbito andino, pero no es práctico modelar todas las posibles rutas. En todo caso, sabemos que el Qhapaq Ñan existía categóricamente aparte como red vial primaria entre centros administrativos y el Cusco, con su complemento de tambos, chasquis y otros elementos infraestructurales (Hyslop 1984). El modelo no capta todas las vías del Qhapaq Ñan dentro del área de interés debido a los límites inherentes del registro de campo, a pesar de los miles de días trabajados por los numerosos equipos de registro del Proyecto Qhapaq Ñan. Sin embargo, es muy probable que una mayor inversión en registro no cambiara los resultados desde la perspectiva macro del modelo en sí.

También se advierte que la granularidad gruesa del mapa de base impone límites al análisis: mientras sea menor la escala de la simulación es menos probable que se aproxime a patrones de tránsito en el pasado. Es importante estructurar las preguntas a escalas apropiadas. Por eso, restringimos el análisis a una escala interregional.

Además de estas consideraciones generales, se deben tomar en cuenta otros atributos

y limitaciones del modelo. Sobre todo, que se trata de un modelo básicamente peatonal —una limitación no tan importante en el mundo andino—, en contraste con el mundo romano, donde el tránsito se habilitó para una diversidad de bestias de carga, el transporte a ruedas y los barcos. El uso de camélidos (llamas), sin embargo, sí habría cambiado el cálculo de los costos y determinado el carácter apropiado de las rutas. En esta etapa temprana tampoco se considera la navegación por mar como parte de una red multimodal, aunque sí existió y sería posible modelar puntos de embarque y desembarque en futuras versiones. También señalamos que el modelo carece de datos de registro de una región muy importante: el Cusco. Las rutas a Cusco se hicieron exclusivamente como LCP desde los puntos terminales de tramos registrados en las cercanías de la ciudad. Se espera acceder a los tramos registrados en el departamento de Cusco en futuras versiones del modelo.

Pasos y datos del modelo

Es necesario definir con bastante detalle el proceso y las fuentes del modelo, ya que todos los resultados dependen de los parámetros y bases de datos empleados. Esta información es presentada con el objetivo de que otros investigadores puedan reproducir, agilizar y mejorar este modelo.

Primero, se importaron las polilíneas que representan los tramos registrados por el Proyecto Qhapaq Ñan a un Sistema de Información Geográfica (SIG), haciendo uso de ESRI ArcGIS (en formato *shapefile*). Como modelo de terreno se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE) proveniente de la Space Shuttle Radar Topography Mission (NASA 2014); específicamente, se empleó la versión 4 de CGIAR-CSI, disponible gratuitamente en línea (Consortium for Spatial Information 2008). Esta versión ha sido posprocesada con una resolución de tres segundos de arco (resolución de celda de 90 metros aproximadamente). Para los objetivos de este análisis, este mecanismo representa un balance más que aceptable entre la resolución ideal y los límites de la computación. De esta forma, el proceso llenó pequeños vacíos en el modelo crudo. A continuación, se juntaron los parches de MDE en un solo *raster* para pasarlos a la proyección Albers Equal Area Conic. Después, se utilizaron temas (*themes*) hidrográficos de lagos para identificar áreas no transitables en el MDE. Las celdas coincidentes de estas capas sobrepuestas al MDE fueron codificadas como “sin datos”, para delimitarlas como intransitables en la generación de LCP. El MDE resultante sirve como base de terreno para el cálculo de LCP.

Después de proyectar el tema polilínea de los tramos registrados se extrajeron los puntos terminales de cada segmento. Estos 637

puntos (cada uno identificado con un código único) sirven como puntos iniciales y finales en la producción de LCP en las zonas entre los segmentos registrados. Optamos por comenzar este proyecto en la región sur de Perú como prueba de concepto, con la meta final de completar la red del Qhapaq Ñan para todo el país en futuros estudios.

Se generaron las LCP con GRASS GIS, un programa SIG gratis de fuente abierta. Específicamente, se utilizaron las funciones *r.walk* y *r.drain* para generar las superficies de costo y las LCP. La función *r.walk* calcula un *raster* del coste anisotrópico acumulado desde una ubicación de origen a una ubicación de destino. Se optó por utilizar GRASS GIS, porque *r.walk* permite el movimiento del caballo (en el sentido de ajedrez); es decir, el modelo permite que el agente sobrepase una celda de más alto costo para llegar a una celda de menor costo. Esta función produce dieciséis movimientos posibles desde un origen y permite simular una ruta de menos costo “detrás” de un obstáculo. Para calcular la superficie de coste acumulado, utilizamos la fórmula incluida en *r.walk* derivada de Aitken (1977) y Langmuir (1984), derivadas, a su vez, de la regla Naismith para estimar los parámetros de costo para los intervalos de pendiente especificados (vid. GRASS 2008).

La función *r.walk* genera dos *raster*: el *raster* de coste acumulado y otro direccional llamado *backlink raster*, que contiene direcciones de movimiento (cada celda codifica en dirección hacia el destino indicado). Este paso es computacionalmente intensivo, de acuerdo a la distancia entre los puntos de origen y destino. El procedimiento para conectar dos segmentos con una LCP, entonces, es simplemente indicar el punto de origen y el punto de destino en *r.walk*, lo cual genera una superficie de coste y un *backlink raster*. Posteriormente, se indican los puntos de origen y destino de estos dos *raster* en *r.drain*, lo

cual genera un flujo de menor coste acumulado entre el punto de origen y el punto de destino en la superficie de coste, dando como resultado un *raster* de estas celdas y un vector polilínea coincidente. Al final, se exporta este resultado al formato *shapefile*.

Si bien este método es sencillo en concepto, en ejecución se complica por la escala y el número de LCP requeridas, y es necesario repetir este proceso para cada par de puntos de origen y destino. Por eso, distribuimos la región sur en sectores entre los coautores, y cada uno siguió este protocolo. Desde el comienzo, uno de los colaboradores (Vylegzhanina) ha escrito tres *scripts* Python para automatizar los pasos de *r.walk*, *r.drain*, y de exportación a *shapefile* en GRASS (disponible a pedido del primer autor). Estos *scripts* solo requieren un listado de puntos de origen y de puntos de destino que utilicen sus códigos únicos para automatizar el procesamiento.

Una vez generados los vectores de las LCP entre los tramos registrados, se unen todas las LCP en un solo *shapefile* en ArcGIS y después se lo convierte en un *feature class* dentro de un *file geodatabase*. La figura 3 proporciona un ejemplo de los LCP entre tramos, registrado en una zona del estudio. Esta conversión se hizo para poder revisar las relaciones topológicas entre las LCP y los tramos registrados, ya que para funcionar como *network dataset*, las LCP y los tramos registrados tienen que estar unidos exactamente por sus puntos terminales. Con una *feature class* se pueden crear reglas topológicas y automatizar, justamente, la revisión de topología, la cual se ajustó a partir de una función que une puntos terminales dentro de un *buffer* determinado. Con la topología corregida, se convirtió el tema polilínea y los puntos terminales a un *network dataset* para análisis de redes espaciales, utilizando además la extensión Network Analyst de ArcGIS.

Para simular flujos de tráfico por la red, es necesario poblar el paisaje con puntos

FIGURA 2. Área de estudio



de embarque y desembarque. Obviamente, no existe cobertura total de los patrones de asentamiento. Además, los sitios registrados por el Proyecto Qhapaq Ñan son de muchas clases, tamaños y de variable metodología de registro. Estas diferencias interregionales de registro podrían introducir falsas impresiones de patrones de flujos de tráfico. En todo caso, para nuestros fines, la meta es cargar la red con tráfico disperso. Por eso, optamos por generar al azar una nube de puntos dentro de un *buffer* (polígono de inclusión) de 5 kilómetros alrededor de la red. Después se recortó este *buffer* por la línea de la costa —para no tener puntos de embarque en la mar— y se generó una distribución de 2 mil puntos al azar dentro de ese *buffer* (figura 4).

Utilizando esta metodología, se generaron 274 LCP para conectar los tramos regis-

trados y generar una red vial. En términos de distancia, los tramos registrados suman 3 121 kilómetros en el área de interés, y las LCP suman 4 568 kilómetros, por lo que ambos dan un total de 7 689 kilómetros en la red (tabla 1).

TABLA 1. Estadísticas descriptivas de los tramos registrados y LCPs

Categoría	Distancia (km)	Porcentaje
Tramos registrados	3121	41%
LCPs	4568	59%
Total	7689	100%

¿Cómo se comparan los tramos registrados y LCP? Las estadísticas descriptivas acerca de los perfiles de ambas clases de datos proporcionan algunos puntos de partida. Para hacer esto, se extraen todos los vértices de las polilíneas ($N = 40\,705$), y los valores de elevación y pendiente de las celdas correspondientes al MDE. En términos de elevación, los valores medianos son similares, pero la distribución de elevaciones de LCP es más amplia y tiende hacia las elevaciones más bajas (figura 5). El rango intercuartil de los tramos registrados, aproximadamente, oscila entre los 2 500 y 4 000 msnm, mientras el rango intercuartil de las rutas optimas es de 1 000 a 4 000 msnm.

Esto probablemente sea resultado de la cobertura del Qhapaq Ñan más que de una diferencia real.

En términos del perfil de pendiente, hay una diferencia significativa: los caminos registrados tienen mayor valor de pendiente que las LCP ($t[14\,838.432] = -91\,530, p < .001$) (figura 6)). Como acabamos de ver, una mayor proporción de las LCP se encuentra en elevaciones bajas, las cuales son generalmente zonas de menor pendiente; Pero una regresión de altura contra pendiente no demuestra una correlación ($r = .13$). El perfil de los tramos registrados presenta realmente más pendiente que las LCP. Entonces, en el

FIGURA 3. Ejemplo de LCPs conectando tramos registrados, zona del Valle del Colca

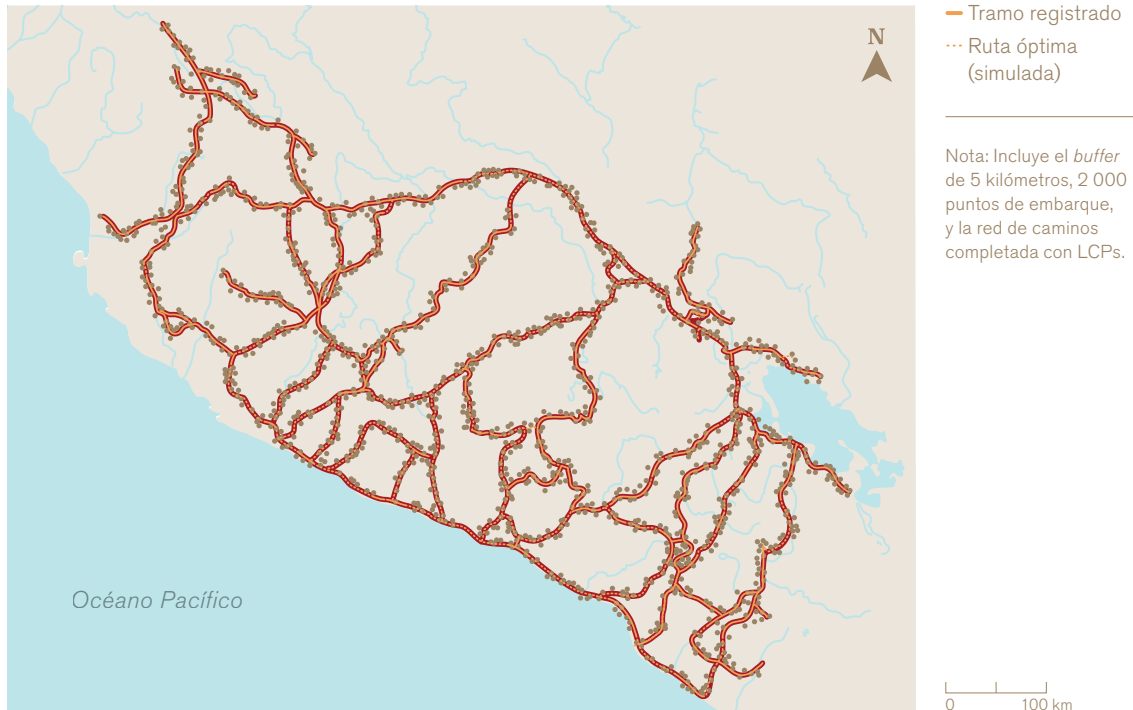


sentido restringido de optimización de ruta por pendiente, las rutas de Qhapaq Ñan no parecen haber sido optimizadas en busca de una mayor eficiencia de tránsito. Esto podría ser un efecto del legado de los antiguos caminos —un efecto fundador— o de una preferencia por caminos rectos; es decir, caminos que cortan por la topografía de manera más recta que una ruta óptima, una característica frecuentemente observada en estos casos. Pero también —y estas posibilidades no son mutuamente exclusivas— es posible que los caminos del Qhapaq Ñan no sean óptimos en términos de eficiencia, aunque sí como sistema de tránsito sobre largas distancias entre

centros administrativos. Esto representa un orden espacial de mayor escala. En todo caso, estas consideraciones también podrían ser utilizadas para mejorar el algoritmo empleado para las LCP.

También es necesario escoger destinos para el tráfico. Para acercarnos a las preguntas planteadas —ver abajo—, es necesario tener una base de comparación entre flujos de tráfico a Cusco, a centros administrativos regionales, a centros administrativos locales —es decir, de segundo orden— y a lugares que no corresponden a centros administrativos. También era preferible tener puntos de medición de tráfico dispersos entre norte y sur,

FIGURA 4. Mapa de base del modelo



y entre costa y sierra. Por estos criterios, escogemos Cusco y los centros administrativos dentro del área de interés principal, y a otros destinos que no corresponden a centros administrativos como puntos de comparación. En los casos de Acarí y Arequipa, se demarcó un nodo en la red que no corresponde a un asentamiento específico, pero que funciona como punto de medición de tráfico para esas localidades.

Como ya se ha mencionado, el fenómeno de interés en este modelo es el flujo del tráfico hacia determinados destinos. En ArcGIS, se simulan tales flujos con la función *nearest facility* (instalación más cercana) la cual calcula la ruta más corta, en minutos o en distancia, desde cada punto de origen al destino indicado. Fue necesario implementar un modelo de movimiento con una velocidad constante de 68 metros por minuto (4.1 kilómetros/hora), aunque en teoría sería posible implementar un modelo que ajuste la velocidad del caminante de acuerdo a la pendiente de los caminos de la red. Hemos determinado los pasos necesarios para tal modelo dentro de Network Analyst. Ello requiere la asignación de velocidad por cada segmento en la red, de acuerdo a su pendiente y a la dirección del viajero a cada destino, pero además son necesarios una serie de pasos computacionales intensivos que no se podrían completar dentro de los parámetros del proyecto. En todo caso, es muy probable que en promedio estas estimaciones no cambiaran los patrones de movimiento a nivel global de la red de caminos imperiales.

La función *nearest facility* calcula la ruta óptima en distancia o en tiempo de tránsito total, los cuales producen rutas idénticas con una velocidad constante entre cada origen —cada uno de los 2 000 puntos distribuidos al azar dentro del *buffer* alrededor de los caminos— y un determinado destino. Los resultados son 2 000 rutas para cada destino

—una ruta para cada punto de origen—. Los segmentos coincidentes entre estas rutas se pueden fusionar (*merge*) para cuantificar el flujo de tráfico por cada segmento de la red hacia cada destino. Asimismo, se puede monitorear el tráfico por determinados puntos en la red.

Líneas más abajo se mide el flujo del tráfico por los nodos que sirven de destinos en otras iteraciones del modelo, es decir, los nodos del Cusco, los centros administrativos y los demás destinos elegidos. Los resultados pueden ser presentados como temas (*themes*) en vectores (polilíneas) o por interpolación a *rasters* a través de la función Kernel Density, lo cual representa la **densidad de tráfico** por la red. Esta representación de densidad es la que presentamos más adelante, en la discusión, comparando los flujos del tráfico a los diferentes destinos. Como es evidente, el patrón general de acumulación de flujo de tráfico es exponencial: al acercarse al destino indicado se restringen cada vez más las rutas posibles. Este patrón de acumulación es una propiedad general de las redes dirigidas a determinados destinos (*vid. Llobera, et al. 2011: 844*), por eso optamos por visualizar los *rasters* de densidades de tráfico con una escala de colores logarítmica.

Hipótesis y expectativas observacionales

El análisis en esta fase preliminar del proyecto queda bastante abierto y con posibilidades de exploración. Con solamente una fracción de la totalidad de la red sería prematuro inferir mucho acerca de los índices estándares de centralidad, ya que los límites del modelo no representan la totalidad del sistema y los “efectos de borde” (*edge effects*) son marcados. Por ello, las hipótesis son de carácter general, relativas a temas de investigación y a expectativas a tomarse en cuenta a partir del modelo.

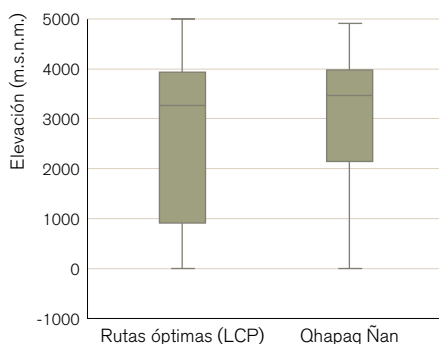
Uno de los temas de interés del presente análisis tiene que ver con **la centralidad de la capital y los centros administrativos**. Este aspecto comparte suposiciones y expectativas de anteriores investigaciones sobre la teoría de grafos: si los centros administrativos regionales, junto con el Cusco, formaron una red integral, de modo que la posición en la red de la capital fue determinante para sus ubicaciones, entonces deberían mostrar patrones o cifras de centralidad más altos que otros nodos en la red.

Asimismo, otro aspecto que tiene que ver con **la función de vigilancia** de los centros administrativos y la capital. Si el Cusco y estos centros fueron ubicados en la red para vigilar el tráfico, entonces mostrarán cifras más altas de flujos de tráfico que otros nodos. Fuera de estas hipótesis, como resulta evidente, la inspección visual de los planos de densidad del flujo de tráfico origina discusiones adicionales e interpretaciones preliminares.

Resultados y análisis: simulación de flujos

Primero, empezamos con Cusco como destino en la red (figura 7). Lo que rápidamente salta a la vista es una distribución uniforme del tráfico. Básicamente todas las rutas principales entre Vilcashuamán (norte) y Hatunqolla (sur) manejan similares flujos. Los segmentos registrados por Qhapaq Ñan parecen captar la gran mayoría del flujo de tráfico hacia el Cusco. Es cierto que estamos restringidos por el modelo y las opciones disponibles, pero es probable que tal patrón no cambiara drásticamente con un plano más completo. Es decir, el Cusco parece muy bien integrado a la red vial imperial y los centros administrativos parecen estratégicamente ubicados para vigilar y regular el flujo de tráfico. Desde luego, hay que considerar los efectos de los límites del análisis (el “efecto de borde”). Los puntos de embarque, en realidad, se extienden mucho más en todas las direcciones.

FIGURA 5. Boxplot de la elevación de caminos, LCPs vs. tramos registrados



Pasando de norte a sur, cambiamos el destino a Hatun Jauja (figura 8). El flujo de tráfico es marcadamente diferente en comparación con su distribución relativa al Cusco como destino. De especial interés es Vilcashuamán, pues casi todo el tráfico (93 %) de la red pasa por ahí. La mayor parte del tráfico del sur (casi la tercera parte de todo el tráfico) recorre la zona de Acarí para después subir por Caravelí hacia Vilcas. El flujo de la zona de la cuenca de Titicaca pasa por Cusco para después pasar por Vilcashuamán. La ubicación estratégica de Vilcas es evidente, tanto como su nítida vinculación con el Cusco y Hatun Jauja como red administrativa. Cuando se expanda la cobertura del proyecto hacia el norte, en el futuro, la centralidad de Vilcashuamán disminuirá en proporción al flujo total, pero seguramente seguirá constituyendo el nodo clave para casi todo el tráfico de las regiones del sur destinado a Hatun Jauja y la sierra central.

Cuando se indica a Vilcashuamán como destino en la red, se observa un patrón muy similar al patrón hacia Hatun Jauja, lo que sugiere vinculaciones fuertes entre Vilcas, Cusco y Acarí (figura 9). De un lado, el tráfico de la zona del Titicaca pasa por Cusco, mientras

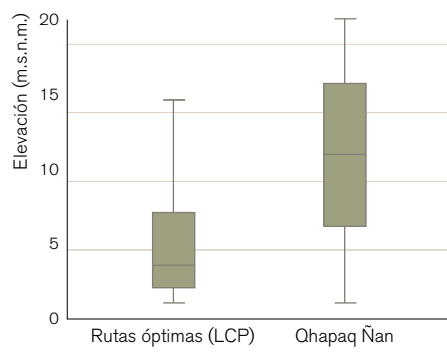
el tráfico de Arequipa y los valles de la costa sur lo hace por Acarí. Es difícil interpretar los flujos de tráfico desde el norte, dado que Vilcashuamán se ubica cerca del límite norteño de nuestra cobertura (problema del borde analítico). Cuando se expande el modelo hacia el norte, se espera que el rol de Tambo Colorado y Hatun Jauja como nodos de tráfico sean más prominentes, dadas sus vinculaciones directas con Vilcashuamán. Pero aun aquí se nota una rápida carga de tráfico por Tambo Colorado, a pesar de su extensión relativamente corta y los pocos puntos de embarque desde ese punto distal en la red.

En el paso a la costa central y a Tambo Colorado como destino, se aprecia mejor su nítido vínculo con Vilcashuamán (figura 10). Casi 40 % del tráfico hacia Tambo Colorado pasa por Vilcas, mientras que el tráfico de los valles suroccidentales lo hace por Acarí. El enlace entre la zona lacustre y Cusco es más que evidente de nuevo. Por otro lado, el tráfico de la zona del Titicaca pasa por Cusco, y otra vez por Vilcas para bajar a Tambo Colorado.

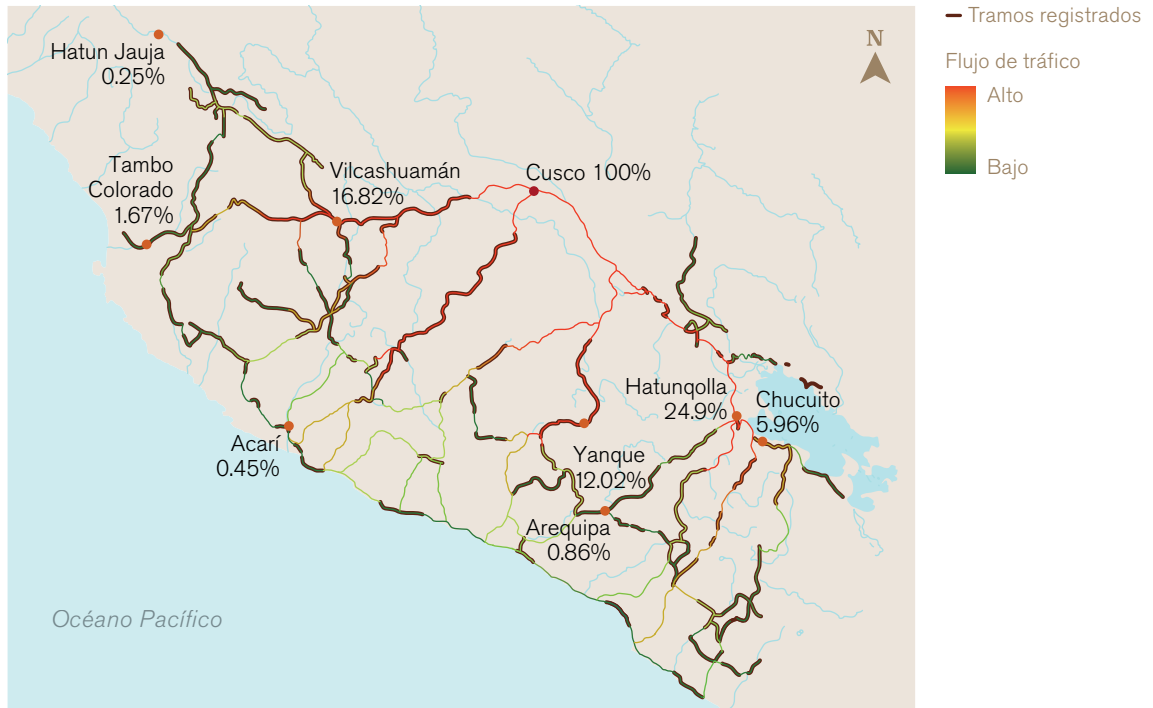
Acarí como destino, más bien, no parece bien integrado con la red de centros administrativos (figura 11). El flujo de tráfico no pasa de 14 % en cualquiera de ellos. En este sentido, Acarí tiene una función importante para nuestros fines como caso de control o hipótesis nula: ¿cómo se muestra el patrón de tráfico cuando el destino no es un centro administrativo regional? La acumulación del flujo de tráfico es más dispersa, ya que las cifras de tráfico no pasan del 8 % en los centros administrativos y el Cusco. Como ha observado Jenkins (2001), el sitio de Tambo Viejo, un centro secundario en la zona de Acarí, es de baja centralidad y parece mejor ubicado como punto de origen en la red —probablemente para bienes suntuosos— que como punto de destino.

De Acarí pasamos a Yanque, centro administrativo principal de la provincia de Collaguas (valle del Colca), para tener una

FIGURA 6. Boxplot del pendiente de caminos, LCPs vs. tramos registrados



FIGURAS 7 Y 8. Mapas de acumulación de flujo de tráfico, destinos: Cusco y Hatun Jauja



FIGURAS 9 Y 10. Mapas de acumulación de flujo de tráfico, destinos: Vilcashuamán y Tambo Colorado



FIGURAS 11 Y 12. Mapas de acumulación de flujo de tráfico, destinos: Acarí y Yanque

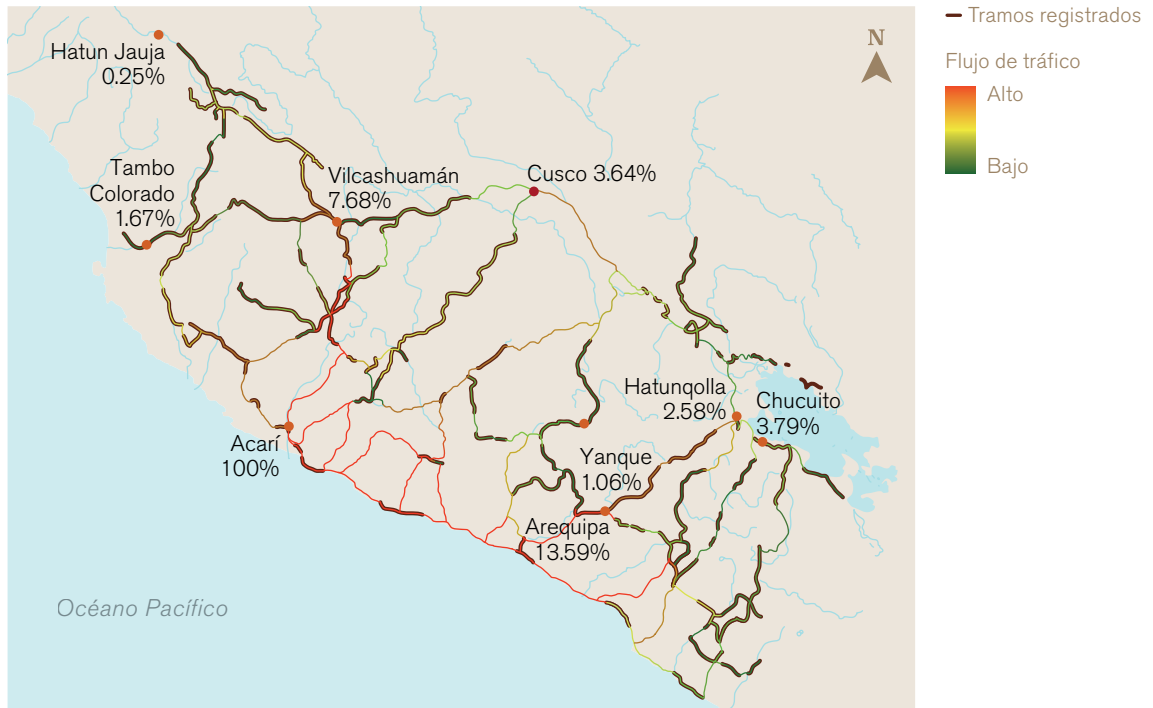


FIGURA 13 Y 14. Mapas de acumulación de flujo de tráfico, destinos: Arequipa y Hatunqolla



medida de cómo un centro local —no tan grande como Jauja, Vilcas o Tambo Colorado— se vincula con la red. En este caso, los enlaces son más fuertes entre Arequipa y Cusco (figura 12). Estos resultados deben ser considerados provisionales, dado que falta el registro de caminos entre el valle del Colca y la cuenca de Titicaca, y no se ha generado un LCP entre ambas localidades, tarea que se realizará en la siguiente iteración del proyecto.

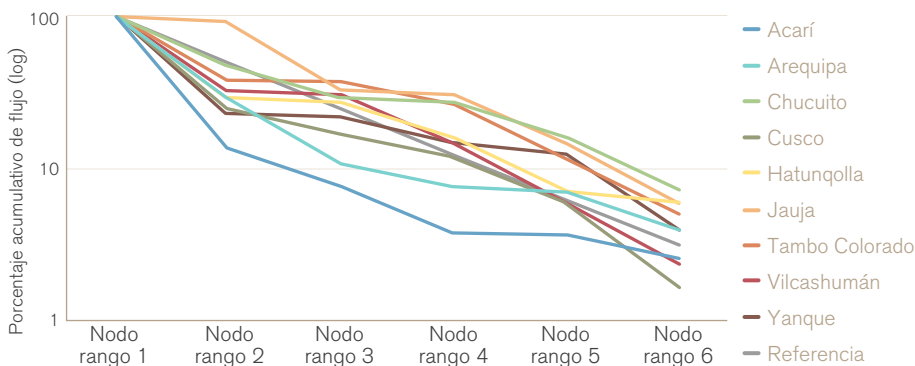
Pasando a Arequipa como destino, zona de extensas áreas de cultivo ocupada por varios grupos étnicos, el patrón es muy disperso (figura 13). Primero, se nota que el tráfico de la región del Cusco pasa por el Colca-Yanque para llegar a Arequipa, no por el lago —una ruta que hasta la época colonial se utilizaba para el trajín entre las dos ciudades—. La mayor parte del tráfico del norte llega a Arequipa por la ruta costera, pasando por Acarí. Entonces Arequipa, como hoy en día, parece estar bien ubicada para articular la red entre la costa y la sierra.

Terminamos con la región del lago Titicaca, llegando primero a Hatunqolla como destino (figura 14). Aquí los vínculos con Cusco y Arequipa son evidentes, pues casi la

tercera parte del tráfico pasa por Cusco. Pero aún en este caso, la ubicación de Vilcas (lejos del lago) en la red es clave. Por otro lado, el rol de Arequipa como articulador entre costa y sierra es sobresaliente: el tráfico de la vertiente occidental pasa por Acarí y sube por ahí. El patrón no cambia de manera notable para Chucuito y por eso no reproducimos el mapa de flujo del tráfico.

Se pueden comparar los patrones de flujo de manera gráfica (figura 15). Aquí se ha hecho un sorteo descendente del porcentaje de tráfico relativo a cada destino. Lo importante es la forma general de las curvas: mientras la curva sea más convexa significa que el tráfico a través de la red es más disperso hacia el destino. Las curvas con mayor nivel de pendiente o convexas indican los nodos claves por donde pasa mucho tráfico relativo al destino (por ejemplo, para Jauja, el Nodo 8 que aquí corresponde a Vilcashuamán). Aquí se observa de nuevo el rol de los centros administrativos como nodos de control y vigilancia, como parte de una red imperial. Acarí es un destino notable por la falta de vigilancia de los centros administrativos con respecto al flujo de tráfico.

FIGURA 15. Perfil de acumulación de flujo de tráfico, por destino



Discusión

En esta sección se presenta la primera iteración de una nueva metodología para investigar la red de caminos en el Tawantinsuyu, a través de la conexión de los tramos registrados con LCP y el análisis de redes espaciales. Este procedimiento ha permitido, por primera vez, una simulación interregional de los flujos de tráfico en la red de caminos incaicos. Los resultados son más bien pistas de investigación y no hallazgos, pero resultan sugerentes. A pesar de las limitaciones de los datos y la sencillez del modelo, este parece realista y razonable, ya que presenta rutas plausibles —en términos generales— entre regiones, por ejemplo costa-sierra sur o sierra central-Titicaca. Los centros administrativos sí parecen estar estratégicamente ubicados para controlar y vigilar el tránsito a lo largo de grandes distancias a través del Tawantinsuyu. Vilcashuamán, en particular, parece un nodo muy estratégico e importante dentro de la red, una conclusión compartida con investigaciones realizadas antes.

Futuras iteraciones podrían incorporar dos estrategias: intensificación y extensificación. En cuanto a intensificación, la estrategia se enfoca en mejorar la granularidad de los datos a nivel intraregional. Con la ayuda de especialistas regionales se podría añadir o corregir caminos y LCP, especialmente en la zona de Cusco. Asimismo, con una mayor nitidez a escala subregional, se podría investigar las relaciones entre los factores locales y las ubicaciones de las instalaciones estatales. En cuanto a extensificación, la meta a mediano plazo es ampliar los datos obtenidos para abarcar toda la red del Perú. Con tal cobertura se tendría una base más firme para simular las acumulaciones de los flujos de tráfico en el Tawantinsuyu.

La utilidad del modelo también podría extenderse a la planificación y organización de futuras campañas de registro en campo. Las LCP, en combinación con otros temas y factores (por ejemplo, distancias desde las carreteras modernas para facilitar el acceso en el campo), podrían ser utilizadas para priorizar operaciones de registro. Finalmente, es de resaltar que el modelo dentro del SIG facilitará el manejo de recursos y esfuerzos del Proyecto Qhapaq Ñan.

Referencias citadas

FUENTES DIGITALES

Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)

2008 SRTM 90m Digital Elevation Data [en línea]. Disponible en: <http://srtm.csi.cgiar.org/> [18 de enero de 2017].

National Aeronautics and Space Act (NASA)

2014 SRTM: Space Shuttle Radar Topography Mission [en línea]. Disponible en: (www2.jpl.nasa.gov/srtm/) [18 de enero de 2017].

Scheidel, Walter; Elijah Meeks y Jonathan Weiland

2012 *Understanding ORBIS* [en línea]. Disponible en: http://orbis.stanford.edu/orbis2012/ORBIS_v1paper_20120501.pdf [18 de enero de 2017].

The Open Source Geospatial Foundation

2008 Geographic Resources Analysis Support (GRASS) [en línea]. Disponible en: <http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.walk.html> [18 de enero de 2017].

Universidad de Stanford

2014 ORBIS The Stanford Geospatial Network Model of the Roman World [en línea]. Disponible en: <http://orbis.stanford.edu/> [18 de enero de 2017].

FUENTES DOCUMENTALES

Aitken, Robert

1977 *Wilderness Areas in Scotland*. Tesis de Doctorado, University of Aberdeen, Aberdeen.

Astuhuamán Gonzáles, César

2008 *The Organization of the Inca Provinces within the Highlands of Piura, Northern Peru*. Tesis de Doctorado, Institute of Archaeology, University College London, London.

FUENTES IMPRESAS

D'Altroy, Terence N.

1992 *Provincial Power in the Inka Empire*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press.

Earle, Timothy K. y Terence N. D'Altroy

1989 "The Political Economy of the Inka Empire: The Archaeology of Power and Finance", en Carl C. Lamberg-Karlovsky (editor), *Archaeological Thought in America*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 183-204.

Hyslop, John

1984 *The Inka Road System*. Studies in Archaeology. Orlando: Academic Press.

Jenkins, David

2001 "A Network Analysis of Inka Roads, Administrative Centers, and Storage Facilities", *Ethnohistory* [Durham], 48(4), pp. 655-687.

Julien, Catherine J.

1993 "Finding a Fit: Archaeology and Ethnohistory of the Incas", en Michael A. Malpass (editor), *Provincial Inca*. Iowa: University of Iowa Press, pp. 177-233.

Langmuir, Eric

1984 *Mountaintop and Leadership*. Leicester: Scottish Sports Council/MLTB.

LeVine, Terry

1987 "Inka Labor Service at the Regional Level: The Functional Reality", *Ethnohistory* [Durham], 34, pp. 14-46.

1992 "Inka State Storage in Three Highland Regions", en Terry Levine (editor), *Inka Storage Systems*. Oklahoma: University of Oklahoma Press, pp. 107-148.

Llobera, Marcos; Pastor Fábrega-Álvarez y César Parceru-Oubiña

2011 "Order in Movement: A GIS Approach to Accessibility", *Journal of Archaeological Science* [New York], 38, pp. 843-851.

Morris, Craig

1982 "The Infrastructure of Inka Control in the Peruvian Central Highlands", en George Allen Collier, Renato Rosaldo y John D. Wirth (editores), *The Inca and Aztec States, 1400-1800: Anthropology and History*. Nueva York: Academic Press, pp. 153-171.

Morris, Craig y Donald E. Thompson

1985 *Huánuco Pampa: An Inca City and its Hinterland*. Londres: Thames and Hudson.



PERÚ

Ministerio de Cultura

QHAPAQ
ÑAM

PERÚ
sede
nacional

ISBN: 978-612-4126-90-1



9 786124 126901