

## VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DEL LANAMMEUCR: UNA HERRAMIENTA MULTIDISCIPLINARIA ADAPTADA PARA TODO TIPO DE CONDICIONES AL SERVICIO DEL PAÍS

M.Sc. Paul Antonio Vega Salas

Geógrafo

Ph.D. Paulo Ruíz Cubillo

Geólogo

M.Sc. José Francisco Garro

Ingeniero

### INTRODUCCIÓN

Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) son herramientas de alta tecnología que pueden cumplir con una gran cantidad de funciones, debido a su capacidad de operar en áreas remotas, zonas peligrosas o con condiciones adversas para la presencia de personas. Esto los hace idóneos para la inspección en estructuras como puentes, edificios, taludes entre otros (Figura 1). Debido a que es una tecnología de punta que se está expandiendo rápidamente, es importante conocer más acerca de este tema y los usos que se le han dado en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).



**Figura 1. Puente sobre río Virilla en ruta 147, sentido Santa Ana - San Antonio de Belén, margen izquierda, cañón profundo y de alto riesgo.**

Con el objetivo de mostrar las capacidades de estos vehículos y los productos que se pueden obtener, se presentan acá los resultados de algunos de los proyectos de investigación realizados por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN). En estos proyectos se han aplicado diferentes metodologías tanto en la captura de información, como en el procesamiento de datos, para generar desde videos y/o registros fotográficos, hasta Modelos de Elevación Digital (MED) del terreno. Los proyectos se han llevado a cabo en diferentes puntos de la Red Vial Nacional tanto en estructuras como en carreteras, así como en análisis a nivel regional de procesos que tienen un impacto en la obra pública como deslizamientos, problemas de terraplenes e incluso flujos de material volcánico por cauces de ríos, también conocidos como lahares.

### Definición de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT)

Como su nombre lo indica, los VANT son aeronaves pilotadas por medio de un control remoto o cuarto de control a distancia. Su tamaño puede ser muy variable, pues existen aparatos que caben en la palma de la mano, así como aquellos con dimensiones similares al de una avioneta comercial, como los Predator del ejército de EE.UU. (Gertler, J. 2012). Su sistema de propulsión principal es por medio de hélices, impulsadas por motores eléctricos que a su vez son alimentados por baterías internas. Por lo general, presentan cuatro hélices, pero existen aparatos con mayor número de éstas.

### Comité Editorial 2017:

· Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD, Coordinador General PITRA, LanammeUCR

· Ing. Raquel Arriola Guzmán, Unidad de Normativa y Actualización Técnica, PITRA, LanammeUCR

Popularmente son conocidos como drones, debido al singular sonido que emiten cuando son utilizados. Sin embargo, el término correcto VANT por Vehículo Aéreo No Tripulado se ha establecido en la actualidad para distinguirlos de otros aparatos: incluso, existe el término VANTDC para distinguir a aparatos bélicos (Vehículo Aéreo No Tripulado de Combate) (Vera, 2013). Es importante distinguir entre los aparatos comerciales y los de uso profesional, siendo los primeros los más populares dado su bajo precio; sin embargo, a diferencia de los profesionales, presentan características limitadas como cámaras fotográficas y de video de baja resolución, y la falta de rutinas avanzadas de vuelo. Los VANT profesionales pueden llevar sensores variados, como cámaras de alta resolución, sensores térmicos, de gases, multi-espectrales y radar, así como baterías de mayor rendimiento y rutinas avanzadas de vuelo (vuelos automáticos, navegación por GPS, correcciones por altitud); sin embargo, sus precios rondan los miles de dólares.

La Universidad de Costa Rica ha sido pionera a nivel académico nacional en el uso de estos equipos, y entre varios institutos y escuelas cuenta con 17 de estos aparatos. Cinco de ellos se encuentran en el LanammeUCR, a cargo de la UGERVN (Figura 2). Los mismos son utilizados de manera regular en proyectos de evaluación en rutas nacionales; sin embargo se han brindado colaboraciones a otras unidades académicas y gubernamentales para proyectos variados.



**Figura 2. Se muestran imágenes de los tres tipos de VANT con que cuenta LanammeUCR, arriba a la izquierda DJI Inspire Pro, arriba a la derecha Phantom 3 Professional y abajo Aibot v2 X6.**

### Historia y uso de equipos en LanammeUCR

En el año 2014 la UGERVN adquirió el primer equipo VANT para poder realizar inspección de taludes y puentes de gran tamaño y difícil acceso. El equipo adquirido fue el Aibot v2 x6 de la marca Aibotix, un vehículo con capacidad de llevar cámaras de alta resolución que permiten obtener modelos muy detallados de las obras levantadas. Además, se capacitaron 3 funcionarios en el uso tanto de este aparato, como en el procesamiento de la información levantada.

Los primeros proyectos donde se utilizó este VANT fueron el puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional 32, y el puente sobre el Río Tárcoles en la Ruta Nacional 34, donde la presencia permanente de cocodrilos dificulta enormemente la inspección de su estructura (Figuras 3 & 4).

La necesidad de evaluar estructuras de menor tamaño y en espacios reducidos generó la necesidad de adquirir nuevos equipos que se adaptaran mejor a estas situaciones, por lo cual en el año 2015 se adquirieron tres aeronaves tipo Phantom 3 Professional de la marca DJI. Debido a la versatilidad y autonomía de este equipo, así como su facilidad de uso y confiabilidad, fue posible realizar levantamientos en lugares más difíciles, así como mejorar los modelos y volar incluso sobre áreas pobladas con mayor seguridad.

Por último, en el año 2016 se adquirió el equipo Inspire Pro también de la marca DJI, que presenta mejoras importantes con respecto a los modelo tipo Phantom 3 Professional, siendo la principal mejora una mayor autonomía de vuelo. Este fue el equipo utilizado en la zona de Upala – Bagaces, la cual a finales de ese año fue golpeada directamente por el huracán Otto; apenas días después del impacto, y con condiciones de clima inestables, este VANT fue capaz de realizar levantamientos que generaron información valiosa para las autoridades a cargo de atender la emergencia.



**Figura 3. Ejemplo de modelo 3D para pila del puente sobre el río Tárcoles resolución de imagen 8mm, resolución del modelo 1 m, Ruta Nacional 34**



**Figura 4. Fotografía para comparación del modelo visto en la Figura 3.**

## Especificaciones de los equipos

Los equipos a cargo del LanammeUCR se han utilizado para diferentes labores y de acuerdo a sus capacidades. A continuación se detallan sus características:

- Aibotix Aibot v2 X6: el primer VANT profesional adquirido por la UGERVN, es un hexacóptero de 1 metro de diámetro, y 45cm de alto, con un peso aproximado de 5 kg. Su tiempo de vuelo efectivo (sin contar el despegue y aterrizaje) no supera los 8 minutos, y presenta un rango de operación efectiva de 300 metros. Puede ser equipado con distintos sensores, el equipo actualmente cuenta con una cámara fotogramétrica, y opcionalmente se le puede montar una cámara fotográfica de 36MP cuando es necesario contar con mayor resolución de imágenes.
- DJI Phantom 3 Professional: originalmente adquiridos para dar apoyo al Aibot, la versatilidad y desempeño de este cuadracóptero de 30cm de lado y 20cm de alto le han dado un papel preponderante en los proyectos realizados por la UGERVN. Tiene un peso de 1,3kg y una autonomía de vuelo efectiva de aproximadamente 15 minutos, además de que cuenta con cámara digital de 13MP con capacidad de grabar video en 4K y un rango de operación de hasta 2 km.
- DJI Inspire PRO T600: con un peso de 3,5kg y un tamaño de 50cm de lado, este es el VANT más reciente adquirido por la UGERVN. Puede operar en vientos de hasta 60kph, y tiene una autonomía efectiva de 12 minutos. Una ventaja de este aparato es la posibilidad de operar la cámara de manera independiente utilizando para ello un control dedicado: en este modo, tanto el piloto como el operador de la cámara deben trabajar en equipo para sacarle el mayor provecho a cada vuelo. Además, esta cámara de 16MP puede rotar 360° en su eje vertical y presenta un rango horizontal entre los +30° hasta los -90°. Su rango de operación es de 5km.

La Tabla 1 presenta un resumen comparativo de las principales características de estos VANT

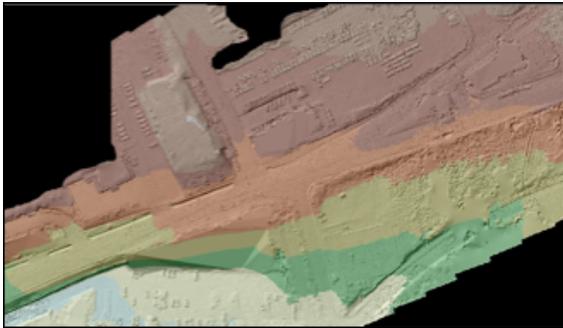
**Tabla 1. Resumen comparativo de ficha técnica de los VANT a cargo de la UGERVN**

Vehículo	Cámara	Autonomía efectiva/máxima	Altura Máxima de vuelo	Rango Operación
Aibotix Aibot v2 X6	Sony Alfa 7R 36MP / Nikon Coolpix A 16MP	8 – 12 min	300 m	300 m
DJI Phantom 3 Professional	Sony 4K 13MP	15 – 20 min	500 m	2000 m
DJI Inspire Pro	Zenmuse 16MP	12-15 min	500 m	5000 m

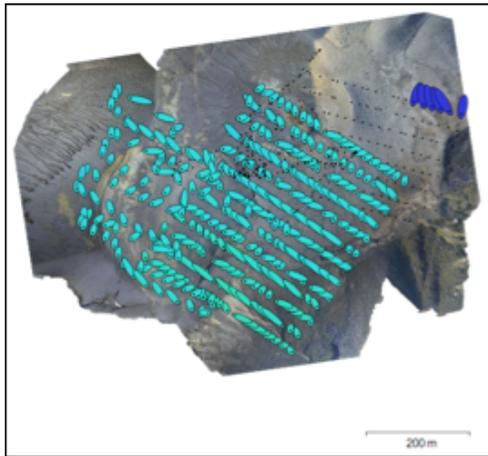
## Casos de estudio con aplicación de los VANT en LanammeUCR

**Levantamientos topográficos por medio de la fotogrametría:** gracias al componente multidisciplinario de la UGERVN del LanammeUCR y la experiencia en el uso de información espacial, los levantamientos y creación de los modelos de elevación digital (MED) representan uno de los usos más importantes para los VANT (Figura 4).

La fotogrametría es una técnica que permite la reconstrucción geométrica de un objeto por medio fotografías aéreas captadas desde dos puntos de vista diferentes (Figura 5) (Sanchez, J. 2007). Esta técnica permite recrear el terreno de forma rápida, precisa y según las necesidades de los diferentes estudios. Durante el año 2016 y el primer trimestre de 2017 se han realizado levantamientos en la Ruta Nacional No.27, específicamente en los estacionamientos que se han visto afectados por drenaje ácido de roca (DAR) 38+600, 47+000 y 48+000 (Ruiz et al.,2015a). Esto con el fin de poder comparar la evolución de erosión de los taludes en diferentes momentos (Figura 6), esto permite cuantificar el cambio volumétrico así como de morfología, luego de intervenciones realizadas a los mismos para mejorar su estabilidad.



**Figura 4.** Ejemplo de un modelo de sombras creado a partir de un MED, en el cual se eliminaron los edificios para representar mejor la Ruta Nacional No. 111, en el sector de Real Cariari, con una resolución espacial 1 m.

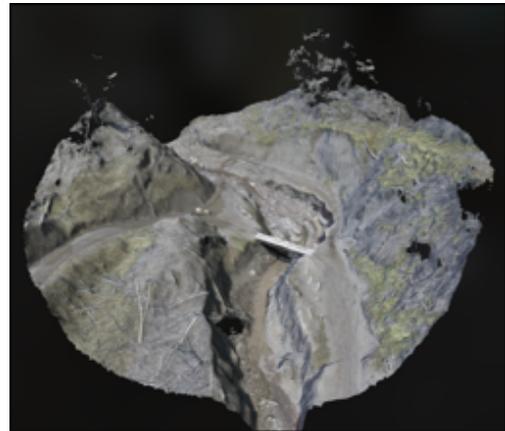


**Figura 5.** Ejemplo de la ubicación de las cámaras por línea de vuelo del VANT, para trabajo realizado sobre cráter activo del volcán Turrialba.



**Figura 6.** Ruta Nacional No. 27, km 47 control de taludes afectados por procesos de drenaje ácido de roca, Modelo Digital de Superficie, resolución 1m.

**Proyecto Lahares del volcán Turrialba:** mediante la información recolectada por los VANT, es posible realizar actualizaciones a modelos digitales existentes (Figura 7) permitiendo modelar con software especializado y con datos más cercanos a la realidad la posible área de inundación por un evento de lahar. Con este tipo de modelos, se puede determinar los puentes de la Red Vial Nacional que pueden verse afectados en caso de que ocurra un evento de grandes magnitudes. (Ruiz et al., 2015b)



**Figura 7.** Modelo Digital de Superficie formato web de la Quebrada Paredes, ubicada en el sector oeste del volcán Turrialba. Se muestra un puente de madera actualmente destruido debido a los lahares que han bajado por esta zona

**Control de obra:** la facilidad de estos equipos para realizar vuelos periódicos ha permitido llevar un control fotográfico del avance de la construcción de obras nuevas. Esto ha sido aplicado directamente en la construcción de las nuevas Torres de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica en la finca de la Ciudad de Investigación. El primer registro se realizó el día 13 de agosto del 2016 y se continúa a la fecha. Este seguimiento se está realizando como una solicitud de la Escuela de Ingeniería Civil, pero otras oficinas de la UCR han mostrado interés en solicitar tomas y fotografías de dichos vuelos.

Además, se está trabajando en conjunto con la Contraloría General de la Republica para el seguimiento y avance de los trabajos en las intersecciones del proyecto Sifón - La Abundancia (Figura 8).



**Figura 8. Avance de los trabajo en intercambio, Sifón - La Abundancia, altura de vuelo 80 metros, solicitud especial de la Contraloría General de la Republica.**

**Exploración y reconocimiento:** a continuación se muestra una lista de los proyectos donde los VANT del LanammeUCR han realizado reconocimientos:

- Ruta Nacional No. 35, tramo entre Sifón y La Abundancia, en la zona norte
- Ruta Nacional No. 606 tramo Guacimal - Santa Elena de Monteverde (Figura 9)
- Ruta Nacional No. 613 entre los poblados de Sabalito y Las Mellizas, zona sur
- Nueva terminal de contenedores de Moín, Limón (APM Terminals) (Figura 10)
- Taludes varios en la Ruta Nacional No. 32 Carretera San José – Limón
- Intersecciones varias en la Ruta Nacional No. 1 Carretera Interamericana

Gracias a estos reconocimientos, se han creado modelos tridimensionales que permiten analizar la forma y características desde una perspectiva aérea, lo cual permite identificar aspectos que desde el terreno no es posible apreciar, tales como zonas inestables, represamientos de agua o niveles de erosión severos que pueden culminar en afectación de la infraestructura nacional.



**Figura 9. A la izquierda fotografía oblicua de talud en la ruta nacional No 606 cerca de Santa Elena - Monteverde, a la derecha su reconstrucción en 3D con los datos obtenidos con el VANT, permitiendo reconocer y analizar en oficina los ángulos de los taludes y la pendiente de la ladera hacia el valle.**



**Figura 10. Sobrevuelo de reconocimiento en proyecto APM Terminals, Limón Costa Rica.**

**Inspección visual de puentes:** en acompañamiento con los especialistas en puentes del LanammeUCR, se han realizado inspecciones visuales en estructuras sobre cañones profundos como el puente sobre el Río Virilla en la Rutas Nacionales 1 (Figura 11) y 32, o que presentan amenazas particulares como las presentes en el puente sobre el Río Tárcoles en la Ruta Nacional No. 34 Carretera Costanera, el cual es popular por la presencia constante de cocodrilos que dificultan enormemente su inspección.

En el puente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional 147 (Figura 1), la utilización de los VANT fue determinante para poder evaluar con precisión una sección crítica del puente. Este puente es de tipo GERBER los cuales según los criterios de la American association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) se ha determinado que tienen elementos críticos, esto significa que presenta conexiones que en caso de fallar producirían el colapso de la estructura. Debido a esto, es necesario la inspección y evaluación de estas conexiones que unen los tramos continuos y el tramo central suspendido. Para esto, la utilización de los VANT ha sido de gran ayuda y ha proporcionado información muy valiosa en las evaluaciones que se realizan en LanammeUCR a este tipo de estructuras.



**Figura 11. Inspección visual del puente la platina antes de ser reconstruido, ahora Alfredo Gonzales Flores, Ruta Nacional No. 1 sobre río Virilla.**

**Monitoreo de congestión vial:** los VANT en el LanammeUCR también se están utilizando para la investigación sobre la dinámica vial en la Ruta Nacional 1 en puntos clave como en la cercanía del puente Alfredo Gonzales Flores. Actualmente se trabaja con la Unidad de Seguridad Vial y Transporte para la aplicación de una metodología de análisis de video que permita detectar problemas relacionados con la infraestructura vial y el comportamiento de los vehículos (Figura 12).



**Figura 12. Sobre vuelo sobre Ruta Nacional No 1, en coordinación con la Dirección General de Aviación Civil.**

**Colaboraciones dentro y fuera de la UCR:** además de los ejemplos descritos anteriormente, en el LanammeUCR se han realizado convenios que han permitido el uso de los equipos por parte de otros centros de investigación y oficinas, como el Canal 15 de la UCR con quienes se han realizado dos proyectos de producción audiovisual; Escuela de Geografía de la UCR en el levantamiento del sector del Río Abrojo en la zona sur del país, para el cálculo y modelación de posibles deslizamientos en una zona que puede afectar el puente en el sitio de la Ruta Nacional No. 2. Otra colaboración importante de

mencionar fue a finales del año 2016 con la Comisión Nacional de Emergencias y el Ministerio de Educación Pública, en la evaluación de escuelas afectadas en la zona norte debido a la influencia del huracán Otto (Figura 13).



**Figura 13. Imagen aérea del sector de Upala captada con el VANT tipo DJI Inspire Pro, donde se observa lodo y detritos en el territorio transportado por las aguas del río Zapote, 2016.**

### **Precisión de los levantamientos topográficos**

Actualmente los sensores instalados en los VANT del LanammeUCR son fotogramétricos, equipados con cámaras de alta resolución. Sin embargo, debido a las limitaciones propias de cada aparato, es necesario planificar el proyecto antes de realizar los vuelos, de tal manera que se pueda optimizar el uso de las baterías. Con base en esto, se escoge el área y la altura de vuelo, para tener la mejor resolución espacial posible; a mayor altura, menor resolución y por ende, menor precisión de los modelos obtenidos. Además, se debe tomar en cuenta restricciones propias de cada zona, donde la cercanía a aeropuertos y/o edificios gubernamentales establece alturas máximas y zonas donde no es posible volar.

Como dato importante, un modelo obtenido a partir de una altura de vuelo de 80 metros, presenta una resolución de pocos centímetros; la precisión puede ser mejorada instalando marcas en el sitio que se asocian a coordenadas de GPS de alta exactitud.

### **Ventajas del uso de los VANT**

A manera de resumen, se indican las ventajas de este tipo de tecnología

- Son herramientas versátiles que pueden ser configuradas para desempeñar diferentes actividades.

- Permiten dar seguimientos históricos con un costo relativamente bajo en comparación con los vuelos tradicionales en avioneta o helicópteros cuando se trata de áreas pequeñas (5 km<sup>2</sup>).
- En el LanammeUCR el uso de estos equipos ha significado la reducción del riesgo al que se enfrenta el personal durante sus inspecciones en campo.
- Proporcionan la capacidad de recolectar evidencia fotográfica y datos actuales de cualquier lugar que sea necesario.
- Permiten la generación de curvas de nivel que sirven como parte de los estudios básicos para cualquier proyecto de infraestructura vial.
- Creación de cartografía actualizada y el procesamiento fotogramétrico mediante el software, permite la creación de los modelos 3D que facilitan el análisis de estructuras y terrenos.
- La información levantada con los VANT es compatible con los Sistemas de Información Geográfica, que en conjunto son de gran utilidad para la toma de decisiones.

### **Futuro de los VANT en Costa Rica**

Debido a la facilidad de uso, versatilidad y bajo costo relativo de los VANT, se abren nuevas posibilidades a empresas e instituciones públicas en la realización de sus labores. Es de esperar que la tendencia a crear equipos con capacidades superiores y menores costos esté en boga por varios años.

Desde el año 2014 cuando se adquirió la primera unidad, el Lanamme-UCR se convirtió en referencia a nivel académico en el uso de estos equipos. En conjunto, sus operadores han acumulado más de 1000 horas de vuelo y se han establecido contactos con la Dirección General de Aviación Civil y el Instituto Nacional de Seguros sobre las regulaciones – normativas en el uso seguro de estos equipos. A su vez, se da apoyo a otras entidades tanto dentro como fuera de la UCR. Actualmente se trabaja en certificar a sus operadores como instructores en el uso de estos aparatos, en paralelo a la actualización continua en metodologías, software y los VANT en sí, siguiendo las tendencias mundiales.

### **BIBLIOGRAFÍA:**

- Gertler, J. (2012). U.S. Unmanned Aerial Systems . Estados Unidos: CRS Report for Congress.
- Ruiz, P., Arauz, A., Garcia, J., Villalobos, G., Sedo, A. & Suarez, C., (2015a): Drenaje ácido de rocas en taludes de la ruta nacional 27, San José - Caldera, Rev. Geol. Amér. Central, 53:25-46, DOI: 0.15517/rgac.v53i0.21146
- Ruiz, P., Vega, P., Barrantes, R., Loría, G., (2015b). Modelación de lahares generados por el volcán Turrialba y su posible afectación a la red vial nacional. LM-PI-UGERVN-11-2015. Universidad de Costa Rica.
- Ruiz, P. (2016). Los drones en la ciencia. Ciencia más tecnología, 6, 4.
- Sanchez, J. (2007). Introducción a la Fotogrametría. Cátedra de Topografía: Universidad Politécnica de Madrid.
- Vera, J.M. (2013). Cuál es la diferencia entre un drone, un UAV y un RPA. 2017, de One Magazine Sitio web: <http://www.onemagazine.es/noticia/14713/industria/cual-es-la-diferencia-entre-un-drone-un-uav-y-un-rpa.html>.



LanammeUCR

**LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

**PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE  
PITRA**

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.

*Coordinador General*

Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA

*Subcoordinador*

**UNIDADES**

**Unidad de Auditoría Técnica (UAT)**

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc

*Coordinadora*

**Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)**

Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA

*Coordinadora*

**Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)**

Ing. Raquel Arriola Guzmán

*Coordinadora*

**Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP)**

Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD.

*Coordinador*

**Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)**

Ing. Roy Barrantes Jiménez

*Coordinador*

**Unidad de Gestión Municipal (UGM)**

Lic. Carlos Campos Cruz

*Coordinador*

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Katherine Zúñiga Villaplana / Óscar Rodríguez Quintana

Boletín técnico: VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DEL LANAMMEUCR: UNA HERRAMIENTA MULTIDISCIPLINARIA

ADAPTADA PARA TODO TIPO DE CONDICIONES AL SERVICIO DEL PAÍS / Noviembre, 2017

Tel.: (506) 2511- 2500 / Fax: (506) 2511-4440 / Código Postal: 11501-2060 / E-mail: [direccion@lanamme.ucr.ac.cr](mailto:direccion@lanamme.ucr.ac.cr) / Sitio web: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>