



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

**DISEÑO Y PLANEACIÓN DE UN CURSO PARA LEVANTAMIENTO DE
INFORMACIÓN DEL TERRITORIO CON DRONES**

INFORME ACADÉMICO POR EXPERIENCIA PROFESIONAL

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

PAZ DEL CARMEN COBA PÉREZ

TUTOR: DR. LUIS MIGUEL MORALES MANILLA

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

CIGA, UNAM CAMPUS MORELIA

CO-TUTOR: DR. MANUEL EDUARDO MENDOZA CANTÚ

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

CIGA, UNAM CAMPUS MORELIA

MORELIA, MICHOACÁN, SEPTIEMBRE 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

En primer lugar, agradezco al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) y al Posgrado en Geografía, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por la formación recibida durante el curso de mis estudios de maestría.

También, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca para llevar a cabo mis estudios de posgrado. De la misma forma, agradezco el apoyo al Laboratorio Universitario de Drones (LUD) por haberme brindado un espacio todos estos años para mi crecimiento profesional.

Expreso mi más sincero reconocimiento y gratitud al Dr. Luis Miguel Morales Manilla y al Dr. Manuel Eduardo Mendoza Cantú por la dirección de mi informe y por ser parte de mi formación académica al compartir conmigo sus conocimientos y apoyarme en todo momento. Asimismo, agradezco a mi comité integrado por el Dr. Teodoro Carlón Allende, Dr. Guillermo Cisneros Máximo y al Mtro. Eduardo Juventino Ramírez Chávez por sus observaciones y sugerencias enriquecedoras a mi informe por experiencia laboral.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

Agradezco al Dr. Luis Miguel Morales Manilla, al Ing. Iván Ayala Mariscal, al Mtro. Nicolás Vargas Ramírez y al Lic. Luis Espino Barajas, por todo el conocimiento y experiencias compartidas.

A la Mtra. Fabiola Velázquez Ayala, Mtra. Verónica Zarza Villalobos y la Lic. Lourdes Calderón Amezcua, por todo el apoyo técnico que me brindaron durante el desarrollo de mi posgrado.

A todos mis alumnos y mis becarios; Armando, Carlos, Daniel, Ivett's, Kevin, Ricardo, y Uziel, porque sin ellos no hubiera sido posible darme cuenta lo mucho que me gusta la docencia.

A Karla, Araceli, Gemma, Ignacio, César y Gustavo, por la amistad que hemos forjado en estos años.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a mis padres José Alfredo Román Coba González y Hortensia Guadalupe Pérez Guerrero, a mis hermanos Alfredo y Jazmín, y a mi compañero de vida José Carlos Guillén González, como reconocimiento a todos ellos por su apoyo constante e incondicional.

ÍNDICE

Resumen	i
Abstract	ii
INTRODUCCIÓN GENERAL	
1. El Laboratorio Universitario de Drones (LUD)	1
2. Experiencia laboral en el LUD	3
2.1 Docencia	4
2.2 Apoyo a la investigación	6
2.2.1 Proyectos técnicos	7
2.2.2 Proyectos de tesis de licenciatura y posgrado	7
2.2.3 Proyectos de investigación	8
2.3 Eventos de divulgación	9
2.4 Logística del laboratorio	11
DISEÑO Y PLANEACIÓN DE UN CURSO PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL TERRITORIO CON DRONES	
3. Introducción	13
3.1 Objetivo	14
3.2 Objetivo del curso	14
3.3. Insumos para impartir el curso	14
3.4 Estructura y temario del curso	15
3.5 Ventajas y desventajas de los cursos impartidos dentro de un centro educativo	18
3.6 Conclusiones	21
3.7 Discusión	22
3.8 Recomendaciones	24
MARCO TEÓRICO	
4. Vehículo aéreo no tripulado: definición e historia	27
4.1 Variedad y clasificación de los vehículos aéreos no tripulados	30
5. Normativa que regula el uso de drones en México NOM-107-SCT3-2019	33
6. Ventajas, desventajas y aplicaciones civiles de los drones	34
6.1 Aplicaciones de apoyo humanitario	38
6.1.1 Entrega de suministros	39
6.1.2 Desastres de origen natural y antrópico	39
6.1.3 Búsqueda y rescate	40
6.1.4 Defensa del territorio	40
6.1.5 Seguridad y vigilancia	40
6.2 Aplicaciones en investigación	41
6.2.1 Evaluación de desastres	41
6.2.2 Cartografía	42
6.2.3 Topografía	43
6.2.4 Incendios	45
6.2.5 Agricultura de precisión	47

6.2.6 Arqueología y documentación del patrimonio	50
6.2.7 Aplicaciones en las Ciencias de la Tierra	52
6.2.8 Urbanismo/Catastro	52
6.2.9 Monitoreo de flora y fauna	53
6.3 Aplicaciones comerciales	56
6.3.1 Construcción y seguimiento de obra	57
6.4 Aplicaciones de entretenimiento y documentación	59
6.4.1 Periodismo, comunicación y televisión	59
7. CONCLUSIONES DE LA EXPERIENCIA LABORAL	60
8. BIBLIOGRAFÍA	62

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

Figura 1. Cartel del Laboratorio Universitario de Drones (LUD), UNAM, Campus Morelia.	2
Figura 2. Dron modelo Phantom 1, de la marca DJI. El primer dron que se empleó en el LUD, para la práctica de la gran mayoría de los alumnos de la comunidad universitaria de la UNAM, Campus Morelia.	3
Figura 3. Imagen que representa el trabajo realizado en el área de docencia; cursos y capacitaciones a la comunidad universitaria, al público en general, a instituciones públicas, privadas y de gobierno.	6
Figura 4. Imagen que representa el trabajo realizado en el área de apoyo a la investigación; salidas a campo para levantamiento de información, acompañamiento para supervisar vuelos.	9
Figura 5. Imagen que representa el trabajo realizado en el área eventos de divulgación; participación en ferias, demostraciones de vuelo, visitas escolares.	11
Figura 6. Imagen que representa el trabajo en las actividades internas del laboratorio; organizar actividades de becarios, crear contenido actualizado para cursos, mantenimiento de equipo.	12
Figura 7. Acontecimientos significativos que tuvieron un fuerte impacto en la historia del origen de los drones.	30
Figura 8. Variedad de drones aéreos de uso civil de acuerdo al diseño de su estructura.	31
Figura 9. Aplicaciones y tareas que se realizan actualmente con los drones.	37
Figura 10. Imagen a manera de esquema que agrupa las aplicaciones y tareas que actualmente realizan los drones.	38
Figura 11. Mapeo de deslizamientos en Oaxaca en prácticas escolares de la ENES, Campus Morelia.	42
Figura 12. Ejemplo del resultado tras el proceso de imágenes con fines topográficos, en el programa Agisoft PhotoScan.	45
Figura 13. Los drones y su relación con los incendios.	47

Figura 14. Inventario del arbolado en una huerta de Naranjas “Las Vegas”, en Linares, Nuevo León, México.	50
Figura 15. Ejemplos de documentación del patrimonio histórico.	51
Figura 16. Asentamiento irregular ubicado en la periferia de la ciudad de Morelia, Michoacán.	53
Figura 17. Ortofoto de un escarpe para realizar el censo e identificación de especies vegetales en Tumbisca, Michoacán.	56
Figura 18. Seguimiento de obra del edificio de la UDIR (Unidad de Investigación sobre Representaciones Culturales y Sociales), de la UNAM, Campus Morelia.	58
Tabla 1. Insumos para impartir el curso.	15
Tabla 2. Contenido del curso y su distribución en 64 horas.	17
Tabla 3. Contenido del curso y su distribución en 30 horas.	18
Tabla 4. Comparación de las principales características distintivas de los drones aéreos.	32
ANEXO 1. Introducción a la tecnología de los drones (parte I): Origen, ventajas, desventajas de la tecnología y tipos de drones.	68
ANEXO 2. Introducción a la tecnología de los drones (parte II): Aplicaciones civiles de los drones y componentes de los multicópteros.	69
ANEXO 3. Conociendo el equipo de vuelo.	70
ANEXO 4. Ensamble y preparación de equipo de vuelo.	71
ANEXO 5. Simulador de vuelo.	72
ANEXO 6. Maniobras básicas de vuelo.	73
ANEXO 7. Evaluación teórica y práctica de vuelo.	74
ANEXO 8. Introducción a los subsistemas de funcionamiento de un dron: Subsistema eléctrico, de control, comunicación y carga.	75
ANEXO 9. Maniobra de regreso a casa y modos de vuelo.	76
ANEXO 10. Aplicación de vuelo DJI GO 4.	76
ANEXO 11. Maniobras avanzadas de vuelo.	77
ANEXO 12. Evaluación teórica y práctica de vuelo.	77
ANEXO 13. Normativa que regula el uso de drones en México.	78
ANEXO 14. Planeación y ejecución de vuelos fotogramétricos.	79
ANEXO 15. Procesamiento de imágenes con software fotogramétrico.	80
ANEXO 16. Ejemplo de uno de los itinerarios de la práctica de campo desarrollada en Oaxaca, México.	81
ANEXO 17. Entrega de reporte de campo y cierre de curso.	82
ANEXO 18. Contenido temático del curso y su distribución de 64 horas con la variante de dos clases de dos horas por semana.	83
ANEXO 19. Contenido temático del curso y su distribución de 30 horas.	85
ANEXO 20. Ejemplo de la información complementaria que se proporciona a los alumnos.	86
ANEXO 21. Ejemplo de una de las evaluaciones realizadas para la clase en la plataforma Socrative.	87

RESUMEN

El presente documento compila parte de la experiencia profesional adquirida a lo largo de cuatro años de trabajo en el Laboratorio Universitario de Drones (LUD), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Morelia. El trabajo que he desarrollado en el LUD ha sido como técnico en el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), también llamados drones. Las actividades han consistido en dar apoyo al desarrollo de proyectos de investigación, participar en eventos de divulgación, organizar actividades para el laboratorio e impartir cursos de capacitación, siendo esta última actividad la parte medular de este documento. En este informe, se muestra el diseño y la planeación de un curso para el levantamiento de información empleando drones, además, se proporciona material elaborado para impartir las clases como el temario, presentaciones y algunos ejercicios prácticos. Cabe destacar que al inicio no se tenía experiencia para dar cursos y tampoco existía la información que actualmente se puede encontrar para diseñar e impartir un curso de drones. En agosto de 2016, se ofertó e impartió el primer curso optativo semestral de 64 horas, en la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Campus Morelia, UNAM, y desde entonces son diez cursos, incluyendo dos en modalidad en línea dada la situación de la pandemia. El curso ha sido de gran utilidad para algunos de los alumnos que han logrado sacar provecho de ello al emplear sus conocimientos en proyectos académicos y de investigación, proyectos laborales, o actividades recreativas. Desde noviembre de 2016, el LUD también imparte cursos intensivos de menos de 30 horas para la comunidad universitaria y el público en general, hasta ahora han sido 18. El documento se estructura dando inicio con la presentación del centro de trabajo donde se mencionan puntualmente las actividades en las que he participado, seguido del diseño del curso y finaliza con un marco teórico que da sustento a la base del conocimiento que he adquirido.

ABSTRACT

The present document compiles part of the professional experience acquired through 4 years of work in the Laboratorio Universitario de Drones (LUD), of the Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM), at the Morelia campus. The work I have developed in the LUD has been as a technician in the use of unmanned air vehicles (UAV), also known as drones. The activities have consisted in supporting the development of research projects; participate in divulgation, organizing activities for the LUD and give training courses, this last activity being the core of this document. This document shows the design and planning of a course for terrain survey by means of UAV's and provides material created to give such course, presentations and some practical exercises. It's worth mentioning, that in the beginning there was no experience in course nor the information that can be found nowadays to design and teach a UAV course. In august 2016 the first course was offered as an elective subject for a semester, which consisted of 64 hours and it took place in the Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) at the Morelia campus. From then on, 10 course have been given, including two in the online format given the COVID 19 pandemic. The course has been quite useful for some of the students that have been able to take advantage of it. By applying the skills and knowledge acquired in their own academic projects, research, professional and even recreative activities. Since November 2016, the LUD also provides intensive course of less than 30 hours for the college community and general public, so far 18 of such course have taken place. The document starts with a presentation of the work center where I work. After, it shows specific activities in which I have participated, followed by the design of the course itself. And finishes with a theoretical framework which supports the knowledge i have acquired.

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. El Laboratorio Universitario de Drones (LUD)

El Laboratorio Universitario de Drones (LUD), es una instancia integrada por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) y la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, ambas dependencias ubicadas en el Campus Morelia de la UNAM. La visión del LUD, es ser la instancia de referencia dentro de la Universidad, y a nivel nacional, en temas de desarrollo y aplicación de esta tecnología en múltiples ámbitos técnicos y científicos, que atiendan las necesidades de la sociedad, desde la formación de recursos humanos hasta su empleo en la solución de problemas prioritarios del país. Para lograr esto el LUD tiene un objetivo cuádruple conformado por aspectos relativos a la innovación tecnológica, a la investigación, a la educación, y a la prestación de servicios a la comunidad (Morales-Manilla, 2017) (Figura 1):

- En **innovación tecnológica**, el LUD fomenta el diseño, construcción, modificación, armado y prueba de drones para su empleo en tareas de investigación, educación y prestación de servicios.
- En **investigación**, el LUD gestiona y ejecuta proyectos de desarrollo tecnológico y de aplicación de la tecnología de drones dentro de las áreas científicas y tecnológicas que requieren los problemas que enfrenta la sociedad.
- En **educación**, el LUD oferta cursos sobre la construcción, funcionamiento, aplicación de los drones, y entrenamiento para su correcta operación, tanto escolarizados, para los niveles de licenciatura y posgrado, como no escolarizados orientados a actividades de difusión dirigidas al público en general.
- En **prestación de servicios**, el LUD oferta servicios de levantamiento, procesamiento y elaboración de productos de información geográfica adquirida mediante drones, dirigidos a diferentes sectores de la sociedad.

En el 2017, el Dr. Luis Miguel Morales Manilla fue quien promovió la creación del LUD y actualmente él es el responsable de esta instancia. Los primeros integrantes contratados bajo el esquema de servicios profesionales son Paz del Carmen Coba Pérez (aún vigente), Ernesto Iván Ayala Mariscal y César Benjamín García Martínez (mencionados en el orden en que se incorporaron) (Figura 1).



LOS DRONES

Los drones son vehículos no tripulados, controlados remotamente mediante señales de radio. Los drones no solo son vehículos aéreos como comúnmente se piensa, sino también los hay acuáticos y terrestres. De hecho, el primer dron fue un vehículo acuático cuyo movimiento era controlado mediante señales de radio, inventado por Nicola Tesla en 1893. Desde ese entonces, el principio de operación de estos aparatos no ha cambiado en lo esencial, salvo porque ahora integran además elementos electrónicos, como controladores y sensores, que antes no existían. Como muchos otros tecnologías, su empleo en el ámbito científico ofrece una gran variedad de aplicaciones que de otra manera no serían realizables e incluso concebibles.

POTENCIAL

El desarrollo y uso correcto de la tecnología ha sido uno de los pilares fundamentales de la civilización. Los beneficios de cualquier tecnología se manifiestan en la sociedad cuando, por un lado, aquella se hace disponible para un sector importante de esta, y por otro, cuando como resultado de su uso existe ventaja e igualdad en la manera que se producen las interacciones de la sociedad con su entorno. Los drones son una tecnología con gran potencial en muchas aplicaciones civiles, tal es el caso de la adquisición de información con el uso de sensores que registran datos en diferentes porciones del espectro electromagnético o de los que registran múltiples parámetros ambientales, y comparado con otras tecnologías que tienen el mismo objetivo, los drones tienen el beneficio adicional de elevar costos, tiempos y acceder a lugares o situaciones inaccesibles y al momento en que se requiere.

MISIÓN

El Laboratorio Universitario de Drones (LUD), está constituido por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) y la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Unidad Morelia. El LUD tiene un objetivo principal conformado por aspectos relativos a la innovación tecnológica, a la investigación, a la educación, y a la prestación de servicios a la comunidad.
Innovación: diseño, construcción, armado, modificación y prueba de drones.
Investigación: gestión y ejecución de proyectos de desarrollo tecnológico y de aplicación en áreas científicas y tecnológicas.
Educación: ofertar cursos sobre la construcción, funcionamiento y aplicación de los drones y entrenamiento para su correcta operación.
Servicios: levantamiento, procesamiento y elaboración de productos de información geográfica, así como programas de capacitación para la operación de drones.

VISIÓN

La visión del LUD es la de ser el laboratorio de referencia de la Universidad, y a nivel nacional, en temas de desarrollo y aplicación de esta tecnología en múltiples ámbitos científicos, que atiendan las necesidades de la sociedad, desde la formación de recursos humanos hasta su empleo en la solución de problemas prioritarios del país.



CONTACTO:
Tel. 443 322 27 77 ext. 32840,
sted@ciga.unam.mx,
moramain@ciga.unam.mx
www.ciga.unam.mx



LO QUE HACEMOS

Innovación	Investigación

Indicamos y usamos con diferentes sensores.

- Innovación:** MEMS, SISTEMA AUTOMATIZADO PARA RECUPERAR, TEMPORIZADOR PARA CÁMARA TRÍFIDA.
- Investigación:** DEFORESTACIÓN, INCENDIOS FORESTALES, DESLIZAMIENTOS, INUNDACIONES, ASENTAMIENTOS URBANOS, EROSIÓN DE SUELO.
- Educación:** CLASES SEMESTRALES, DEMOSTRACIONES DE VUELO, CURSOS, PLÁTICAS Y CONFERENCIAS, EVENTOS DE DIVULGACIÓN.
- Servicios:** IMÁGENES Y VUELO REAL, MODELO 3D, RECONSTRUCCIÓN DE TALLERES, AUTOPUTS PERSONALIZADAS TÉCNICAS, MUCO ARREGLADO DE ARREGLOS, INVENTARIO PARA SOCIAL, CAPACITACIONES.



Figura 1. Cartel del Laboratorio Universitario de Drones LUD, UNAM Campus Morelia (Fuente: Información extraída de Morales-Manilla, 2017. Diseño: José Carlos Guillén González).

2. Experiencia laboral en el Laboratorio Universitario de Drones

En este apartado, se menciona gran parte de las actividades en las que he colaborado en el LUD a lo largo de cuatro años de trabajo y que han resultado en la experiencia con la que actualmente cuento. El LUD es una instancia de reciente creación, es decir en el 2017 inició formalmente como laboratorio; sin embargo, desde el 2014, tuve la oportunidad de colaborar de forma intermitente, lo que ha permitido que me involucre en la gran mayoría de las actividades que se realizan en el laboratorio (mencionadas en apartado 1 de la introducción general). No obstante, mi participación se ha enfocado principalmente en el uso de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) (Figura 2), también conocidos como drones, en el área de docencia, divulgación de la ciencia y apoyo a la investigación. A continuación, se presenta una relación de las principales actividades que realicé en el LUD (Figura 3-6).



Figura 2. Dron modelo Phantom 1, de la marca DJI. El primer dron que se empleó en el LUD, para la práctica de la gran mayoría de los alumnos de la comunidad universitaria de la UNAM Campus Morelia., A)

Dr. Luis Miguel Morales instruyendo en vuelo al Dr. Manuel Mendoza en el Estribo de Pátzcuaro, Michoacán (*octubre 2014*), **B**) M.G. Karla Guillén realizando sus primeras prácticas de vuelo (*septiembre 2014*), y **C**) Atécuaro, Michoacán, primer proyecto de investigación en el que se empleó el dron para el monitoreo de cárcavas (*abril 2014*) (*Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia*).

2.1 Docencia

En el 2014, como tesista del Dr. Luis Miguel Morales, tuve la oportunidad al igual que otras dos de sus tesistas, de realizar mi primera práctica de vuelo con el dron Phantom 1 (Figura 2). Posteriormente continúe practicando y en mi aprendizaje fui orientando a otros alumnos de forma individual y luego grupal para que aprendieran a volar el dron, además de que en ese momento ya participaba en algunas actividades de divulgación y apoyo a la investigación.

Para el 2016, el Dr. Luis Miguel promovió en la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Campus Morelia, UNAM, impartir el primer curso optativo de drones de 64 horas en la licenciatura de Geociencias (GC) y Geohistoria (GH). Este primer semestre, en conjunto con el Ing. Iván Ayala, iniciamos como Ayudantes de Profesor y entre los tres desarrollamos el contenido inicial de la materia (ver apartado 3.4). En este mismo año, pero en el mes de noviembre, se ofertó el primer curso externo e intensivo de menos de 30 horas para el Instituto Municipal de Planeación de Morelia (IMPLAN Morelia). En el 2017, inicié como Profesor Titular de la optativa y para ese momento ya impartíamos el curso a otras licenciaturas como Ciencias Ambientales (CA) y Tecnologías de la Información en Ciencias

(TIC'S) de la ENES Campus Morelia. A continuación, se enlistan algunas de estas actividades que realicé y pueden ser englobadas en el área de docencia (Figura 3):

- Asesor e Instructor de vuelo de estudiantes que han realizado alguna estancia en el LUD o que emplean los drones en sus proyectos de investigación (2014-actualmente).
- Ayudante y Profesor Titular en la materia optativa de drones de la ENES Campus Morelia, en total 10 cursos impartidos, incluyendo 2 en línea dada la situación de la pandemia (2016-actualmente).
- Profesor Invitado en algunas sesiones al semestre en la clase de Percepción Remota y Ecología Vegetal que se imparten en las licenciaturas de la ENES Campus Morelia (2016-actualmente).
- Profesor e Instructor de vuelo, en cursos intensivos de menos de 30 horas, dirigidos a la comunidad universitaria (estudiantes y académicos), al público en general, a

profesionistas con diferentes perfiles y a instituciones públicas, privadas o de gobierno como el Instituto Municipal de Planeación de Morelia (Implan Morelia), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Ayuntamiento de Morelia, Banco de Alimentos de Morelia (BAMORELIA), e Investigadores de la UNAM en Mérida, Yucatán y Jiquilpan Michoacán (2016-2020).

- Tutora a cargo de la capacitación de ocho becarios del programa de gobierno Jóvenes Construyendo el Futuro (JCF) (2019-2020).
- Sinodal de un proyecto de titulación de licenciatura de la ENES Campus Morelia. Tecnología e implementación de drones (Agras mg-1p) para la agricultura en los municipios: Hecelchakán, Hopelchén, Champotón y Escárcega; en el Estado de Campeche (en proceso).
- Co-tutora en proyecto de tesis de licenciatura de la ENES Campus Morelia. Segmentación y Clasificación de Imágenes tomadas por Drones con Redes Neuronales Convolucionales para Agricultura de Precisión (en proceso).



Figura 3. Imagen que representa el trabajo realizado en el área de docencia; cursos y capacitaciones a la comunidad universitaria, al público en general, a instituciones públicas, privadas y de gobierno., **A)** instructor de vuelo y alumno en curso de la ENES Campus Morelia (LCA-GH semestre 2019-2), **B)** ejecución de vuelo en la práctica de campo en Oaxaca (Santiago Mitlatongo, GH-TIC'S semestre 2017-2), **C)** prácticas de vuelo en área deportiva de la ENES Campus Morelia, **D)** grupo de becarios generación (2019-2020) trabajando con el dron Mavic 2 pro, **E)** planeación de vuelos de la práctica de campo en Oaxaca (Santo Domingo Yanhuitlán, LCA-GH semestre 2019-2), y **F)** práctica en simulador de vuelo en curso de capacitación intensivo (enero 2020) (Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

2.2 Apoyo a la investigación

Desde que inicié las primeras prácticas de vuelo con el Phantom 1 (Figura 2), el Dr. Luis Miguel me involucró en diversos proyectos algunos de investigación y algunos otros realizados más a forma de experimentación. Independientemente del proyecto, mi participación consiste en planear y/o ejecutar vuelos para generar información y procesarla para obtener por ejemplo un Modelo Digital de Superficie. En otras ocasiones la participación incluye dar acompañamiento para que los participantes del proyecto ejecuten los vuelos con

supervisión o darles una capacitación o plática del trabajo con los drones. A pesar de que no tuve un acercamiento más con los proyectos, pude planear misiones y volar los drones en diferentes entornos que suponen diferentes condiciones de vuelo, unos más desafiantes que otros, pero siempre con un aprendizaje. A continuación, se enlistan algunos proyectos en los que he participado (ver apartado 6.2 y 6.3) (Figura 4):

2.2.1 Proyectos técnicos

- Documentar actividades que ocurren dentro de la UNAM, Campus Morelia, por ejemplo: construcción y seguimiento de obra del edificio de la UDIR (Figura 18), sistema de apoyo para vigilancia “Senderos Seguros para Alumnos”, ortofoto anual del campus y eventos deportivos, culturales, monitoreo de paneles solares de los edificios de la ENES Campus Morelia, inspección de techos de los edificios del campus (2014-actualmente).
- Pruebas de vuelo para definir traslapes, velocidad de vuelo, alturas, resolución, entre otros que sirven para generar material para clase y definir algunos parámetros de vuelo dependiendo del modelo de dron que se emplee (2014-actualmente).
- Inventario de arbolado en una huerta de naranjas en Linares (Figura 14) (2015).
- Documentar la ocurrencia de un incendio forestal para ver la magnitud del evento, en las cercanías de la UNAM, Campus Morelia y en otros puntos dentro del estado de Michoacán (Figura 13) (2016-2017).
- Mapeo de zonas térmicas en zona de los Azufres y cercanas al lago de Cuitzeo en Michoacán (2016 y 2019, respectivamente).
- Mapeo de zonas de deslizamientos realizando vuelos periódicos en Oaxaca (Figura 11) (2016-2019).
- Pruebas de vuelo con sensor térmico y multiespectral para captura de información sobre paneles solares, cuerpos de agua y vegetación acuática dentro de las instalaciones de la UNAM Campus Morelia (2017-2019).

2.2.2 Proyectos de tesis de licenciatura y posgrado

- Monitoreo de cárcavas en Atécuaro, Michoacán, maestría (2014-2018).
- Análisis del riesgo por procesos de remoción en masa en ambientes volcánicos: El Estribo, Pátzcuaro, Michoacán, doctorado (2017).

- Mapeo de zonas deforestadas en Angangueo, Michoacán, licenciatura (2017-2018).
- Documentación de un retablo de oro dentro de una iglesia en Morelia, Michoacán, maestría (Figura 15) (2018).
- Multifuncionalidad del territorio ejidal, multifuncionalidad de la agricultura en el periurbano, maestría (2018)
- Monitoreo de zonas inundables en Morelia, maestría (2018-2019).
- Mapeo de la vegetación de un escarpe en Tumbisca, Michoacán, licenciatura (Figura 17) (2019).
- Monitoreo del crecimiento de asentamientos irregulares en Morelia, doctorado (Figura 16) (2017-2019).

2.2.3 Proyectos de investigación

- Inventario del arbolado público urbano de la zona metropolitana de Guadalajara (2017-2018).
- Elaboración del Programa de Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana de Oaxaca. (2019-2020).
- Proyecto PAPII IG300319. Nuevas geografías de la urbanización en México: transformaciones territoriales y medios de vida de sectores sociales vulnerables en las periferias de ciudades medias (2019-2021).
- Segregación socio-espacial en ciudades medias (2019-2020).
- Proyecto PAPIME-DGAPA PE-304220: “Estrategias de fortalecimiento para las ciencias sociales. Énfasis en la enseñanza-aprendizaje a través de la tecnología de drones y modelos tridimensionales de realidad aumentada” (2020-2021).



Figura 4. Imagen que representa el trabajo realizado en el área de apoyo a la investigación; salidas a campo para levantamiento de información, acompañamiento para supervisar vuelos., **A)** supervisión de vuelo de proyecto de tesis de doctorado (Mtra. Anahí Cárdenas, *septiembre 2017*), **B)** trabajo de campo en el Proyecto del Inventario de Arbolado en Guadalajara (*julio 2018*), **C)** vuelo para levantamiento de información en Huerto Universitario, ENES Campus Morelia (*junio 2019*), **D)** ejecución de vuelos para verificación de datos en campo para proyecto de tesis de maestría (Geog. Araceli Benítez, *marzo 2019*), **E)** grupo de investigación del proyecto PAPII IG300319 Nuevas geografías de la urbanización en México (*marzo 2020*), **F)** vuelos de prueba para inspección de paneles solares con cámara térmica (Ing. Iván Ayala, *enero 2017*) (Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

2.3 Eventos de divulgación

Participación en eventos de divulgación desarrollados dentro y fuera de la UNAM Campus Morelia, la mayoría organizado por la Coordinación de Servicios Administrativos CSAM y la M.C. Estela Carmona, responsable del de los eventos de divulgación en el CIGA. El aprendizaje que obtuve por la participación continúa en estos eventos va más allá de la organización de la actividad o creación de contenido, porque se tiene un acercamiento directo con los niños, los jóvenes y adultos que tienen diferentes ideas de como empleamos la

tecnología, y es en estos eventos donde se difunde nuestra actividad en la sociedad como Laboratorio Universitario de Drones. Actualmente con la situación de la pandemia la participación en eventos de divulgación disminuyó, sin embargo, han surgido algunos eventos en línea. A continuación, se mencionan algunas de estas actividades (Figura 5):

- Impartir conferencias y talleres en diversos eventos de divulgación que organiza la UNAM Campus Morelia, dentro y fuera de sus instalaciones, por ejemplo, la Feria de las Ciencias y Humanidades, el Rally de Geohistoria, Ciencia en Acción, entre otras (2014-2020).
- Plática y demostración de vuelo para alumnos diferentes escuelas y niveles educativos que visitan el campus cada semestre (2014-2020).
- Material audiovisual para documentar la expansión del cultivo de aguacate en una zona de Uruapan, Michoacán, entrevista para noticiero mexicano (2018).
- Material audiovisual para un cortometraje de un estudiante de la ENES Campus Morelia (Jonard, 2018).
- Pláticas organizada por el M.C. Eduardo Ramírez Chávez para el canal de YouTube SIGALT SIG, Drones una herramienta tecnología para la formación académica y “Pláticas de Encerrados; Drones, clases y pandemia” (Laboratorio SIG y PR Umar, 2019 y 2020).
- Impartir pláticas virtuales en eventos: i) “Los Drones en la Universidad” en La semana de los drones organizada por el Instituto Tecnológico de Morelia, ii) “El papel de los drones en las Ciencias Sociales” en la Semana de las Ciencias y la Tecnología, que organiza la Preparatoria PREFECO, de Ciudad Hidalgo Michoacán (2020).



Figura 5. Imagen que representa el trabajo realizado en el área eventos de divulgación; participación en ferias, demostraciones de vuelo, visitas escolares., **A)** grupo de becarios generación (2019-2020) dando apoyo en la Fiesta de las Ciencias y Humanidades, UNAM Campus Morelia (octubre 2019), **B)** visita escolar y demostración de vuelo en UNAM Campus Morelia (noviembre 2018), **C)** visita a escuela primaria en Angangueo, Michoacán (noviembre 2014), **D)** demostración de vuelo en Fiesta de las Ciencia y Humanidades (octubre 2014), **E)** conferencia en evento organizado por la UNAM Campus Morelia (octubre 2016), **F)** plática para el canal de YouTube SIGALT SIG (septiembre, 2019) (Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

2.4 Logística del laboratorio

Además de los puntos antes mencionados, el trabajo que he realizado en el LUD, también ha consistido en atender otros aspectos que tienen que ver con la organización de información, de actividades y recursos (Figura 6).

- Creación y actualización de contenido teórico y práctico, para actividades de docencia, divulgación y apoyo a la investigación (Figura 12) (2016-actualmente).

- Inventario de los recursos del laboratorio, por ejemplo, drones, sensores, equipo de cómputo.
- Desarrollo de estrategias de inventario, para llevar control del equipo del LUD.
- Mantenimiento preventivo del equipo que se emplea en las capacitaciones (drones, baterías, dispositivo móvil, etc.).
- Coordinación de actividades del grupo de becarios generación 2019-2020.
- Manejo y resguardo del acervo información del LUD.
- Registro de equipo de drones ante la SCT-AFAC.
- Página de Facebook del LUD.

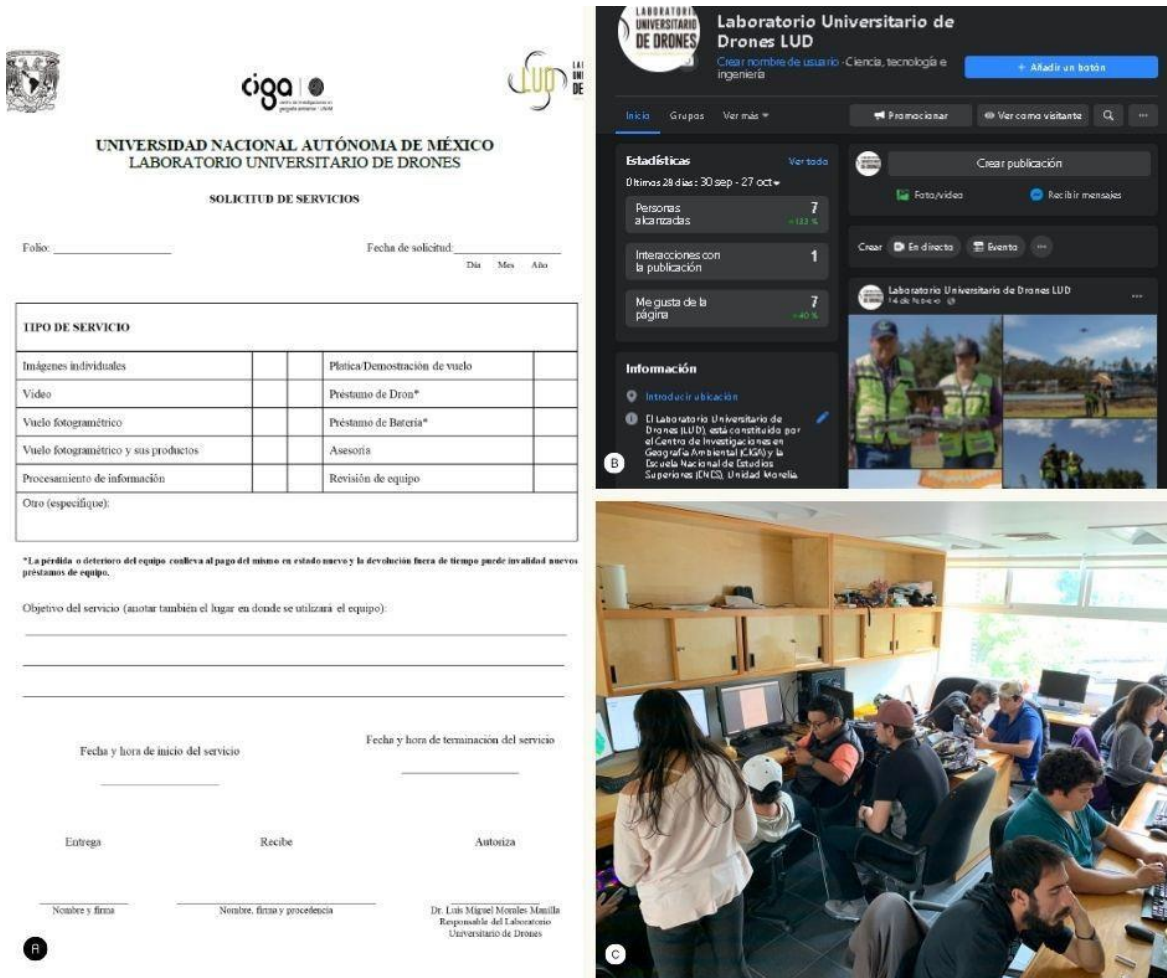


Figura 6. Imagen que representa el trabajo en las actividades internas del laboratorio; organizar actividades de becarios, crear contenido actualizado para cursos, mantenimiento de equipo., **A)** formato de solicitud de préstamo de equipo, **B)** página de Facebook del LUD, y **C)** inventario de equipo realizado en conjunto con el grupo de becarios generación (2019-2020) (Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

DISEÑO Y PLANEACIÓN DE UN CURSO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL TERRITORIO CON DRONES

3. Introducción

La planeación de un curso es un instrumento educativo que implica tomar una serie de decisiones referidas a estrategias, actividades, recursos y materiales que se pueden emplear para que el estudiante adquiriera conocimiento y/o habilidades. Por lo tanto, planificar un curso requiere conocimiento del tema, sobre todo si también se va a diseñar el temario (Morales-Salas, 2018).

Actualmente, es posible encontrar en línea temarios de cursos con diferentes enfoques relacionados al uso de los drones, por ejemplo, para la capacitación de vuelo, la programación y ensamble, el procesamiento de información, entre otros. Anteriormente, estos recursos no estaban disponibles, por lo menos no como ahora, lo cual supuso un gran reto para planear y al mismo tiempo impartir un curso escolarizado a nivel licenciatura con 64 horas al semestre, y posteriormente ir adaptándolo a cursos intensivos para diferente público con 30 horas o menos.

El curso optativo de drones que se imparte en la ENES Unidad Morelia, UNAM, en las licenciaturas de Ciencias Ambientales, Geociencias, Geohistoria y Tecnologías de la Información para las Ciencias, ha resultado ser, al igual que otras materias, una optativa de gran valor para la formación profesional y académica de los estudiantes. Hasta ahora, he preparado e impartido 10 cursos con un total de 104 alumnos, de los cuales 24 han realizado actividades académicas o de investigación (tesis, participación en proyectos, impartir cursos de capacitación), 9 lo han usado en su trabajo (préstamo del servicio a través de una empresa o su propia empresa), 6 han realizado actividades recreativas (adquirieron un dron para uso personal) y una alumna extranjera obtuvo la licencia de piloto de drones en su país. Desafortunadamente, no se tiene un seguimiento de todos los alumnos y los datos aquí presentes responden a un correo que algunos de ellos atendieron en octubre de 2020. En relación a los cursos intensivos he preparado e impartido 18, y los alumnos que pertenecen a la comunidad universitaria (estudiantes y académicos), asistieron al curso debido a que en sus proyectos de investigación tenían por objetivo incorporar información que se adquiere por levantamiento con drones, mientras que el resto de los alumnos contaba o estaba a punto de adquirir un dron en su centro de trabajo.

3.1 Objetivo

El objetivo de este documento es presentar el diseño y planeación de un curso a nivel licenciatura enfocado al vuelo de drones, dicho curso es parte del Laboratorio Universitario de Drones (LUD), UNAM Campus Morelia. Este curso considera el diseño de un temario (método de enseñanza, aprendizaje y evaluación), creación de contenido y elaboración de ejercicios prácticos en un curso semestral de 64 horas y uno intensivo de 30 horas.

3.2 Objetivo del curso

El objetivo del curso es proporcionar al estudiante el conocimiento y las habilidades para operar un dron de forma segura y responsable con la finalidad de que genere su propia información a partir de fotografías tomadas con el dron.

3.3 Insumos para impartir el curso

Los insumos requeridos, principalmente constan de equipo, el cual dependerá del número de alumnos inscritos y la cantidad de instructores de vuelo. En la tabla 1, se enlista el equipo que se requiere para impartir la materia, considerando 12 alumnos y 4 instructores, en el caso del curso de 64 horas. El curso de 30 horas requiere los mismos insumos, pero al ser un curso intensivo se hace necesario un instructor y un dron por alumno. Se asume que se cuenta con un espacio para impartir la clase, el cual está equipado con mesas y sillas, mientras que la práctica debe desarrollarse preferentemente en una zona exterior, amplia y despejada.

Asimismo, se hace necesario un espacio que resguarde el equipo y que es de utilidad para prepararlo antes de cada clase (actualizaciones, cargar baterías) (Tabla 1). En anexos (1 - 21) y en la carpeta de Dropbox <https://www.dropbox.com/sh/7y2v0i6e5wwbacr/AABNWPJECj2VATyHHO57Q3Nha?dl=0>, se proporciona contenido elaborado para impartir las clases como presentaciones, el contenido de cada tema, algunos ejercicios prácticos y ejemplo de una evaluación.

Tabla 1. Insumos para impartir el curso. A través de una liga de Dropbox se incluyen las presentaciones y algunos ejercicios que se elaboraron para los cursos* (Fuente: Elaboración propia). <https://www.dropbox.com/sh/7y2v0i6e5wwbacr/AABNWPJECj2VATyHHO57Q3Nha?dl=0>

Cantidad	Equipo	Descripción	Función
4	Dron	Aeronave y control remoto	Vuelo de dron
4	Accesorios para dron (4 juegos)	Baterías y cargadores Hélices de repuesto Cables Pista de aterrizaje Soporte y parasol para dispositivo móvil Correa para control remoto Memoria MicroSD	Se requieren para realizar las prácticas de vuelo con el dron, y en algunos casos para reemplazar accesorios
4	Dispositivo móvil	Teléfono celular, Tablet, o preferentemente iPad, (buscar versiones y sistema operativo compatible con las aplicaciones para vuelo)	Ejecución manual o automática de vuelos y monitoreo de vuelo
4	Aplicación para vuelo de dron	Aplicación gratuita de dispositivo móvil para realizar vuelos manuales y automáticos	Ejecución manual o automática de vuelos y monitoreo de vuelo
13	Equipo de computo	Computadoras con acceso a internet. Requerimientos básicos: 6GB RAM, Windows 10 o posterior, procesador i5 (las características dependen del programa de cómputo a emplear)	Practica en simulador de vuelo y procesamiento de información. El equipo es para el profesor y los alumnos
13	Programa de cómputo	Licencia de software fotogramétrico o versión de prueba de (Agisoft Metahsape o Pix4DphotoScan), y Licencia de ArcMap o QGis, y Google Earth	Programa de cómputo para procesamiento fotogramétrico de las fotografías y generar productos como ortofotos
12	Simulador de vuelo	Versión gratuita de Fly simulator DJI o la incluida en DJI GO 4	Práctica de vuelo en simulador
-	Material audiovisual y papelería	Material audiovisual*, plumones, pizarrón, hojas y tablas tamaño carta, impresora, proyector, apuntador	Material de apoyo para impartir la clase práctica y teórica

3.4 Estructura y temario del curso

Este curso ha sido diseñado en tres unidades que se imparten en 64 horas durante un semestre, lo que corresponde a 4 horas de clase por semana (Tabla 2). La distribución de las horas por semana puede ser una clase de cuatro horas o dos clases de dos horas, en este documento se aborda el esquema de cuatro horas por clase. Este número de horas al semestre corresponde a materias optativas que se ofertan en la ENES Campus Morelia. Los cursos intensivos tienen como máximo 30 horas, pero no menos de 25, de acuerdo a la experiencia que hemos tenido, esto es lo recomendable para que el alumno pueda tener el mayor tiempo de práctica. La distribución de las horas y días en los cursos intensivos es más flexible ya que se adapta al esquema de trabajo de los alumnos, teniendo sesiones diarias o una vez por semana. Cabe

aclarar, que en los cursos intensivos no siempre se aborda el procesamiento fotogramétrico porque depende del público a quien se dirige el curso (Tabla 3).

A diferencia de otras clases, está tiende a ser diferente cada semestre, por la distribución de horas a la semana y por el número estudiantes (máximo 12), ya que dependiendo de esto los alumnos pueden tener más o menos tiempo para practicar el vuelo por clase, lo que influye considerablemente en el tiempo que se le dedica a la unidad 1. Por ejemplo, en una sesión de 4 horas se aborda teoría y práctica en conjunto, logrando que todos los alumnos puedan realizar sus vuelos, mientras que, en una sesión de dos horas por clase, se abarca teoría, pero el tiempo de práctica no es suficiente, no obstante, se tiene otra sesión de dos horas en la semana para realizar la práctica. Esto, en las ocasiones que se tiene pocos alumnos (menos de 8), resulta una ventaja ya que se logra tener más veces para practicar el vuelo, pero cuando son más alumnos (12), el tiempo de vuelo de cada uno se reduce.

Realizar un vuelo conlleva mucha responsabilidad y más aún cuando se trata de enseñar a volar un dron, por tal motivo, el tiempo que se destina a la parte práctica del curso supera las 45 horas en el curso semestral y 21 horas en el intensivo (aproximadamente 70%). En este punto, es necesario mencionar que, aunque la mayor parte del curso es practico no todo se refiere a volar, también hay que planear los vuelos, configurar equipo, entre otros.

Por otro lado, los criterios de evaluación de esta optativa toman muy en cuenta la asistencia puntual a clase (70% de la calificación), la asistencia a la práctica de campo (20%), para la cual es necesario tener el 90% de asistencias, y elaborar un reporte de práctica de campo (10%). El porcentaje asignado a cada punto, ha sido modificado con el tiempo, ya que, por el tipo de clase y el objetivo del curso, basta con que el alumno esté presente en todas las sesiones para asegurarnos que logre un aprendizaje que no siempre se puede reflejar por escrito y que es posible porque es un grupo reducido. No obstante, hay tres evaluaciones formales que se realizan en todo el semestre (anexo 21).

Tabla 2. Contenido del curso y su distribución en 64 horas. *La duración de la práctica de campo ha sido desde 7 horas en las proximidades a la UNAM Campus Morelia, hasta de 4 días en viajes a otro estado de la República Mexicana (anexo 16). En el anexo 18, se expone otra forma de presentar el curso de 64 horas distribuido en clase de dos horas dos veces por semana. La duración de cada clase teórica o práctica es aproximada (*Fuente:* Elaboración propia).

UNIDAD	TEMA	TEORÍA	PRÁCTICA
I INTRODUCCIÓN Y APRENDIENDO A VOLAR	1 Presentación e introducción a la tecnología de drones	3 h	-
	2 Aplicaciones y componentes de los drones	2.5 h	-
	3 Conociendo el equipo de vuelo	-	1.5 h
	4 Ensamble y preparación de equipo de vuelo	-	3 h
	5 Simulador de vuelo	-	6 h
	6 Maniobras básicas de vuelo	-	7 h
	7 Evaluación teórica y práctica de vuelo	-	2 h
	8 Funcionamiento de un multicoptero	2.5 h	-
	9 Maniobra de regreso a casa y modos de vuelo	1 h	-
	10 Aplicación de vuelo DJI GO 4	-	2 h
	11 Maniobras avanzadas de vuelo	-	7 h
	12 Evaluación teórica y práctica de vuelo	-	2 h
II PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DE VUELOS PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	13 Normativa que regula el uso de drones en México	2 h	-
	14 Planeación y ejecución de vuelos fotogramétricos	2.5 h	9 h
III PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	15 Procesamiento de imágenes en software fotogramétrico	2 h	7 h
	16 Práctica de campo (Evaluación)*	-	-
	17 Entrega de reporte de campo y cierre de curso	2 h	-
TOTAL DE HORAS DEL CURSO		17.5 h	46.5 h
		64 horas	

Tabla 3. Contenido del curso y su distribución en 30 horas. En la modalidad que no incluye el procesamiento de información, se extiende el tiempo de práctica de vuelo de la primera y segunda unidad. Para evitar confusiones con el número del tema, se han quitado de este cuadro, sin embargo, los temas que se abordan son los mismos que para el curso de 64 horas, únicamente se modifican para que sean vistos de forma más compacta y se cubran las 30 horas del curso. En el anexo 19, expone otra forma de presentar el curso distribuido por día, considerando un curso de 30 horas. La duración de cada clase teórica o práctica es aproximada (*Fuente: Elaboración propia*).

UNIDAD	TEMA	TEORÍA	PRÁCTICA
I INTRODUCCIÓN Y APRENDIENDO A VOLAR	Presentación, introducción y aplicaciones de los drones	1.5 h	-
	Conociendo el equipo de vuelo	-	1.5 h
	Ensamble de equipo y aplicación de vuelo DJI GO 4	-	3 h
	Simulador de vuelo	-	2.5 h
	Maniobras básicas y avanzadas de vuelo	-	5 h
	Funcionamiento de un multicoptero	1 h	-
	Maniobra de regreso a casa y modos de vuelo	1 h	1 h
II PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DE VUELOS PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	Normativa que regula el uso de drones en México	2 h	-
	Planeación y ejecución de vuelos fotogramétricos	1.5 h	3 h
III PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	Procesamiento de imágenes en software fotogramétrico y cierre de curso	2 h	5 h
TOTAL DE HORAS DEL CURSO		9	21
		30 horas	

3.5 Ventajas y desventajas de los cursos impartidos dentro de un centro educativo

El respaldo del centro educativo avala la calidad de los cursos que se ofrezcan independientemente de su tipo, es decir si es un curso semestral escolarizado o un curso intensivo no escolarizado.

La duración del curso a lo largo de un semestre, permite abordar la teoría y la práctica de vuelo con mayor detenimiento ya que estas se complementan, logrando que el alumno tenga una mejor comprensión y dominio del tema, y a los instructores de vuelo les facilita identificar a alumnos que requieren más atención para ejecutar algunos vuelos.

La práctica de vuelo es constante lo que permite aumentar su grado de complejidad conforme pasa el tiempo, favoreciendo así el aprendizaje y habilidad del alumno, sin importar si es un grupo pequeño o grande (menos de 12 alumnos). Es muy común tener alumnos con dificultades para operar el dron, los motivos son diversos, pero generalmente es el miedo a que se estrelle la aeronave, o no recordar las maniobras a realizar para desplazarse, sin embargo, la práctica de vuelo constante, la guía y supervisión del instructor, logra darles la seguridad necesaria para mejorar su habilidad. Caso contrario, los alumnos que inician confiados por tener habilidad para controlar el vuelo del dron, a veces tienden a ir muy rápido, o incluso optan por saltarse pasos o querer hacer maniobras temerarias, no obstante, con la guía y supervisión del instructor, los alumnos adquieren un compromiso y responsabilidad para ejecutar el vuelo. Al final, tener alumnos que puedan mostrar estas dos aptitudes ayuda a balancear la dinámica de la clase porque se trabaja mucho en equipo en las sesiones antes de ir a la práctica de campo.

La práctica de campo que se realiza al final del semestre, es de mucha ayuda para el alumno porque se enfrenta a condiciones nuevas y desafiantes para el vuelo, lo que le dará experiencia, pues además de eso, ellos están involucrados en todo el proceso y van tomando decisiones que son cuestionadas por los instructores con la finalidad de saber que lo que está haciendo el alumno tiene un sentido. Se ha visto frecuentemente que los alumnos con más dificultades para operar el dron durante el curso, en la práctica de campo logran un avance significativo en su habilidad de vuelo.

Al finalizar el curso, la gran ventaja para los alumnos es que en cualquier momento pueden poner en práctica lo aprendido en proyectos de investigación, académicos o personales, debido a que es un tema novedoso y una herramienta de la cual prácticamente todos pueden sacar provecho, como se ha visto con algunos de los ex alumnos (ver apartado 3 introducción). En la academia, algunos de ellos han empleado su conocimiento para enseñar e instruir a otros profesores y compañeros al impartir un curso, otros han sido solicitados para realizar los vuelos en proyectos de investigación o para documentar actividades en prácticas escolares, también los han usado como herramienta para generar información en sus proyectos de tesis de licenciatura o como propuestas para maestría. En lo laboral; algunos egresados han encontrado y/o se han generado oportunidades de trabajo por contar con esta experiencia, impartiendo capacitaciones, o montando su propia empresa como es el caso de

dos empresas que ofrecen el servicio de drones en Morelia, Michoacán. En lo recreativo, algunos alumnos compraron su propio dron para uso personal. Otra gran ventaja de los alumnos que tomaron el curso es que a pesar de que la tecnología avanza rápidamente y año con año hay nuevos modelos de drones, los alumnos han expresado que el curso les ayudó a tener las nociones para volar otros drones, aunque no los conocieran pues ya sabían las cosas que debían considerar para volar.

Existe una gran ventaja de que el centro educativo cuente con recursos propios para impartir los cursos, a pesar de la inversión que esto en un principio pueda implicar al adquirir los drones y/o capacitar a un grupo de profesores para ser instructores de vuelo. La ventaja se centra en al menos dos puntos, el primero es que los equipos se pueden emplear para actividades o proyectos del centro educativo y por consecuencia de sus alumnos, profesores e investigadores, y segundo es que los alumnos pueden practicar fuera del tiempo de clase por una inasistencia justificada, un día en que no se pudo volar por las condiciones ambientales, o simplemente mejorar sus habilidades de vuelo en el simulador. Asimismo, que los instructores pertenezcan al centro educativo facilita el asesoramiento a los alumnos para planear sus vuelos que realizan para sus proyectos académicos. Esta situación se presenta porque el CIGA y la ENES Campus Morelia, integran el LUD, en donde frecuentemente los alumnos se presentan y ocasionalmente algunos ex alumnos.

La principal desventaja del curso de drones que es escolarizado, se refleja en la cantidad de alumnos y los recursos del centro educativo. Estos recursos, hacen referencia al número de cursos por semestre que se pueden ofertar simultáneamente en diferentes carreras o en la misma carrera cuando el número de alumnos es grande. Esto implica tener un grupo de profesores e instructores de vuelo, así como de equipos de drones para hacer uso de ellos durante las clases (ver apartado 3.3 insumos para impartir el curso). En una situación ideal, se debe atender a todos los alumnos que aspiran a tomar la optativa, pero si no se cuenta con los recursos necesarios para atenderlos, lo único que pasará es que no tendrán el tiempo individual necesario para desarrollar las habilidades para volar un dron de forma segura y responsable. Una situación de este tipo se presentó en la ENES Campus Morelia, en el semestre 2019-2, en la Licenciatura de Ciencias Ambientales, el cupo de alumnos por cada licenciatura es de 6 (12 es el cupo máximo tomando en cuenta que dos licenciaturas comparten la clase) y en ese semestre inscribieron la materia optativa 47 alumnos. Esto fue

un error en el sistema que posteriormente se resolvió, pero refleja el interés de los estudiantes por tomar la materia.

Los primeros puntos de las ventajas de los cursos impartidos dentro de centros educativos, demuestran que la duración de un curso de drones tiene un impacto en el aprendizaje y habilidad de vuelo del alumno sin importar si lo ofrece un centro educativo o una empresa privada, y es aquí en donde los cursos intensivos tienen su principal desventaja, sobre todo si se trata de cursos que ofrecen pocas horas de práctica.

3.6 Conclusiones

Los drones son una herramienta tecnológica de amplia utilización por el gran potencial que tienen en diferentes sectores. Hasta ahora y de manera general, el uso de drones por parte de la comunidad universitaria recae en la obtención de información actualizada y de alta resolución a través de las imágenes y vídeo aéreo empleando diferentes sensores para captura de información. Este tema está tomando tanta fuerza que, en poco tiempo, tendrá más importancia en los planes de estudio en de nuestra universidad y en general en los planteles de enseñanza.

El diseño, la planificación y la impartición del curso se hizo al mismo tiempo debido a que no se contaba con una estructura a la cual seguir, sin embargo, este curso puso en manifiesto mi conocimiento en la búsqueda de información y mi actitud profesional. La formación profesional que tengo no es como docente, no obstante, al preparar e impartir clase y el trabajo diario con los becarios, logré darme cuenta de que para enseñar a volar drones debe existir un compromiso debido a las implicaciones civiles y legales de estas aeronaves.

El contenido teórico de este curso es parte de una amplia revisión de literatura (libros, artículos, tesis, blogs, foros, tutoriales). Por otra parte, los ejercicios prácticos propuestos en los primeros cursos surgieron como ejemplo de los diferentes escenarios que habíamos experimentado en el trabajo de campo de algunos proyectos de investigación, ya que al inicio no se tenía experiencia ni información de cómo enseñar a volar un dron. Estos ejercicios han sido ajustados conforme avanza el curso, el interés de los participantes y la tecnología de drones con los que se cuenta.

El tiempo destinado a la parte práctica de la clase es de 70% aproximadamente (curso semestral e intensivo), y este tiempo apenas es el suficiente para que el alumno adquiera la

habilidad y conocimiento para operar un dron de forma segura y responsable. Esto es principalmente porque a nuestros alumnos los enseñamos a volar sin depender de las aplicaciones que se utilizan para vuelos programados, ya que hay un riesgo inminente en su uso. Por otro lado, se debe tomar en cuenta que no todos los alumnos tienen la misma facilidad y seguridad para realizar el vuelo, y en el curso se busca nivelar estas habilidades, de hecho, en cada sesión se evalúa a los alumnos y esto es posible porque el grupo es reducido.

La práctica que se realiza en campo, en especial la que se desarrolla en cuatro días de trabajo ha sido de mucha ayuda para que el alumno se enfrente a condiciones de vuelo nuevas y desafiantes. El trabajo que se realiza es intenso y los involucra en todo el proceso que va desde planear los vuelos, preparar el equipo para el día siguiente, hasta ordenar y procesar la información. Se ha visto frecuentemente que los alumnos con más dificultades para operar el dron durante el curso, en la práctica de campo logran un avance significativo.

El procesamiento de información en software fotogramétrico es un tema que se aborda hacia el final del semestre, porque el objetivo de este curso es enseñarlos a volar de forma segura, responsable y eso lleva tiempo, principalmente cuando son muchos alumnos y pocos equipos e instructores. Sin embargo, el tema de procesamiento de información también es una parte importante para que el alumno pueda procesar e interpretar la información, es por ello que se recomienda abordar este tema en un segundo curso que dé continuidad y que incluya el manejo de otros sensores como lidar, multiespectral y térmico.

El curso en modalidad en línea ha presentado complicaciones tomando en cuenta que es un curso práctico, no obstante, se ha encontrado la manera de trabajar con los alumnos al cambiar la distribución de los temas y modificar el contenido para que sea más fácil asimilar la información.

3.7 Discusión

La creación de contenido educativo para operar un dron, es indispensable para que el alumno aprenda a manejarlo de forma segura y responsable. En el 2016 cuando se impartió el primer curso optativo de drones en la ENES Morelia, la información de este tipo no se podía encontrar en libros o internet, en ese momento solo se contaba con varias horas de práctica de vuelo. En este contexto, el proceso de aprendizaje y enseñanza se desarrolló durante el

curso identificando las necesidades de la materia y articulando elementos que intervienen en las clases teóricas con las clases prácticas.

La forma en que hasta ahora se ha impartido esta materia ha contribuido en la formación profesional y académica de los estudiantes de licenciatura de la ENES Morelia y externos. Esto, al proporcionarles conocimiento y práctica para adquirir habilidades en el correcto uso de una herramienta tecnológica con el potencial de generar información actualizada, de alta resolución y a un bajo o nulo costo, lo que se hace deseable en diferentes proyectos. Cabe destacar que, el tiempo destinado a la práctica de vuelo de los alumnos de la ENES Morelia y externos, es superior al que se ofrece en cursos similares que son ofertados por empresas, otras escuelas y particulares.

Al finalizar el curso que se imparte para estudiantes de licenciatura de la ENES Morelia y externos, sería ideal entregar un certificado validado por la Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC), sin embargo, esto solo lo pueden hacer las escuelas autorizadas por esta agencia, por ejemplo, Amacuzac (2020), Drone-Academy (2020), y Drones-México (2020). Estas escuelas ofertan cursos a costos elevados (aproximadamente \$14,999, más gastos de trámites \$4,500, más pago de derechos en la SCT y examen médico aeronáutico \$9,526, los costos son por alumno más IVA y están sujetos a cambios por parte de la SCT), los cuales son impartidos por ingenieros aeronáuticos, pilotos certificados, y su contenido está dirigido a temas de navegación, meteorología, teoría del vuelo, radiotelefonía, entre otros (Drone-Academy, 2020). En este punto es necesario señalar que, si bien los alumnos no obtienen un documento validado por la AFAC, éste no es necesario porque de acuerdo con la normativa que regula el uso de drones en México NOM-107-SCT3-2019, los equipos que aprenden a operar los alumnos, pertenecen a la categoría de drones micro (<2 kg) y solo requieren el registro de la AFAC, que es un trámite en línea y sin costo.

Es claro que en los cursos que se imparten para los alumnos de la ENES Morelia y externos, aún existen temas por abordar, no obstante, se requiere más tiempo para impartir esos temas e incluso ofertar cursos avanzados contando con más equipo, más profesores e instructores de vuelo ya que por ahora eso es una limitante, y se tienen grupos de máximo 12 alumnos, pero la demanda del curso es alta.

3.8 Recomendaciones

Para el alumno:

- Seguir las indicaciones de los profesores e instructores de vuelo en la clase, por cuestiones de seguridad, esto implica que el alumno realice únicamente la actividad asignada en el momento indicado, ya que se trabaja con varios drones al mismo tiempo y en el mismo espacio.
- La actividad que realiza el alumno siempre debe estar acompañada de la supervisión de un instructor.
- Se debe hacer uso correcto del equipo siguiendo las instrucciones que se dieron al comienzo del curso, para mantener y asegurar el correcto funcionamiento del equipo.
- Se debe tener claridad en el tipo de actividad que va a realizar, antes de encender el equipo, para evitar gastar energía de la batería.
- La asistencia a todas las sesiones y la puntualidad son indispensables para esta clase, porque al inicio de la sesión se dan indicaciones para todo el grupo de la actividad a realizar. En este sentido, si un alumno llega tarde se complica explicarle detalladamente la actividad ya que todos (profesores e instructores) están ocupados, y si el alumno no se presenta, retrasa su aprendizaje ya que cada sesión integra más elementos para el vuelo.

Para el profesor e instructor de vuelo (el profesor también es instructor de vuelo):

- El instructor debe asistir al alumno en cada vuelo con la finalidad de corregir malas prácticas, dar orientación y retroalimentación de los ejercicios que se realizan.
- Los instructores de vuelo deben comprometerse a asistir a todas las sesiones prácticas y la mayoría de las teóricas, ya que su ausencia se reflejará en la actividad con los alumnos.
- Los instructores de vuelo deben estar bien coordinados para realizar las prácticas de vuelo, ya que se realizan al mismo tiempo y en el mismo espacio, por ejemplo, designar el espacio de despegue y aterrizaje seguro, y tener cada uno alturas de vuelo para operar libremente. Esto también implica una constante comunicación para estar atentos a todo lo que sucede, porque estamos en un área deportiva y continuamente llegan personas ajenas a la clase a realizar actividades.

- Los instructores deberán conocer la actividad práctica que realizarán por día, se recomienda que un instructor de una explicación a todo el grupo para recibir la misma instrucción y posteriormente cada instructor asista en el vuelo a cada alumno. El instructor generalmente recibe una tabla con una hoja en donde se explica puntualmente la actividad a realizar, los cuestionamientos a hacer al alumno y los parámetros de vuelo.
- En ocasiones algunos alumnos se equivocan repetidamente o temen realizar el vuelo por diversos motivos, pero es trabajo del instructor ser paciente, tolerante y ante todo transmitir una actitud de confianza para que el alumno sienta seguridad en la actividad de vuelo que realiza, lo cual es primordial para realizar vuelos seguros.

Para dar la clase

- En el apartado 3.4, se menciona el tema y el tiempo que se destina para impartir cada sesión (tabla 2 y 3), no obstante, las clases teóricas y prácticas se intercalan a manera de que la información y la parte práctica de vuelo se va complementando y va aumentando su complejidad.
- En las primeras sesiones prácticas, se recomienda ampliamente trabajar de forma individual con los alumnos y posteriormente hacerlos trabajar en equipo. Esto con la finalidad de que el alumno desarrolle su habilidad de vuelo y después trabaje en equipo para complementar habilidades además de lo aprendido.
- A pesar de que el curso ya se encuentra estructurado, la naturaleza del mismo provoca que sea un tanto dinámico, por el avance de la tecnología y las características del grupo, por lo cual el curso se va ajustando y actualizando año con año.
- Para el curso de 64 horas de la ENES Campus Morelia, se proponen tres evaluaciones al semestre; sin embargo, en todas las clases prácticas el instructor hace una evaluación del alumno que permite identificar fácilmente los progresos y dificultades en el vuelo de cada alumno.
- Se recomienda practicar lo más posible vuelos manuales para el levantamiento de información ya que no siempre se puede tener acceso a aplicaciones para vuelo automático (por ejemplo, la misión no carga, la aplicación no abre), y además hay un riesgo en su uso, ya que la aeronave es controlada por la aplicación y se sabe que

muchos drones se han estrellado por esta razón.

- La práctica de campo que se realiza hacia el final del semestre, es clave en el aprendizaje del alumno, ya que manifiesta su conocimiento y habilidades al enfrentarse a condiciones que nunca había tenido en las prácticas de vuelo realizadas dentro de la UNAM Campus Morelia.

MARCO TEÓRICO

4. Vehículo aéreo no tripulado: definición e historia

De acuerdo con la organización UVS INTERNATIONAL (2015), una definición de amplia aceptación para los vehículos no tripulados hace referencia a un sistema, vehículo o plataforma que opera sin un piloto humano a bordo y que emplea señales de radio para el control de vehículos acuáticos, terrestres o aéreos.

Dron o drone en inglés (zángano), es la palabra más utilizada para referirse a esta tecnología, no obstante, en el caso de los drones aéreos existen otros términos que también los identifican como VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), principalmente en América latina, UAV (Unmanned Aerial Vehicle) y UAS (Unmanned Aerial Systems) en Norteamérica y otros países de habla inglesa (Watts et al., 2012). La diferencia entre estos dos reside en que uno hace referencia exclusivamente a la aeronave, mientras que el segundo incluye en su definición a la aeronave y a la estación en tierra (control remoto y piloto) como un sistema. Por otra parte, RPA (Remotely Piloted Aircraft) y RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), han sido acuñados por las dependencias que regulan el uso de los drones a nivel mundial (Watts et al., 2012; Valavanis et al., 2015; Pinzón-Rojas 2017). En el presente documento se emplea de manera indistinta el término dron o UAV puesto que son los que más se emplean en la literatura nacional e internacional.

Contrario a lo que parece, los drones no son una innovación tecnológica reciente, el vuelo no tripulado ha “evolucionado” a lo largo de los años y han intervenido diversos actores (Figura 7): los científicos dan sustento a la tecnología, los militares son quienes hacen un uso extensivo y desarrollan a su beneficio la tecnología, y los civiles son los usuarios finales que van aplicando la tecnología en sus actividades cotidianas y de investigación (Watts et al., 2012; Valavanis et al., 2015; Cuerno-Rejado et al., 2016). A continuación, se hace una breve mención de los hechos más citados en la historia de estas plataformas tecnológicas

- En 1849, se registra el primer bombardeo aéreo no tripulado de la historia. Los austríacos que controlaban gran parte de Italia atacaron la ciudad italiana de Venecia enviando globos aerostáticos cargados con explosivos. La idea era lanzar los globos, dirigirlos lo más cerca posible de Venecia y al ser llevados a posiciones verticales sobre la ciudad, serían disparados por un dispositivo electromagnético conectado a un largo cable de cobre aislado con una gran batería galvánica colocada

en la orilla. Teóricamente la bomba caía de forma perpendicular y explotaba al alcanzar el suelo. Sin embargo, los globos que están a merced del viento, en un momento hizo que varios de ellos regresaran desde donde fueron lanzados, por lo que la operación estuvo lejos de ser un éxito (McLaren, 2019) (Figura 7a).

- En 1871, Alphonse Penaud considerado el “padre del aeromodelismo” diseña el Planaphore, un sencillo aparato que tenía un motor con un peso aproximado de 15 gramos, con el cual podía planear unos 40 metros por un par de segundos. Pasando los años y con el avance de la tecnología se introdujo el primer modelo de control remoto. En la actualidad la OACI (Organización de Aviación civil Internacional), por cuestiones de tipo de uso que se les da a los aeromodelos, estos son considerados independientes de los drones, sin embargo, ambos son vehículos controlados remotamente (La Torre, 2011; López, 2015) (Figura 7b).
- En 1898 se registra oficialmente el primer objeto controlado remotamente. El inventor de origen serbio Nikola Tesla presentaba en la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos su “Method of and Apparatus for Controlling Mechanism of Moving Vessels or Vehicles” (“Método y Aparato para Controlar el Mecanismo de Movimiento de Buques o Vehículos”). La demostración que realizó ante una audiencia, la hizo en una época en que la radio era conocida por muy pocos. Hoy en día se puede contemplar en el Museo Nikola Tesla de Belgrado (Serbia) una réplica del Teleautomaton construido siguiendo las notas manuscritas del inventor (Shaw, 2014) (Figura 7c).
- En 1908 Julius Neubronner, un boticario e inventor alemán, patentó una cámara que montaba con un arnés en el pecho de palomas. De acuerdo con los registros, este inventor usaba a las palomas para enviar mensajes, práctica común en aquellos tiempos, pero las palomas no siempre seguían las rutas de vuelo previstas, por lo que les colocó una pequeña cámara y de esta manera se tuvieron las primeras imágenes aéreas “a vista de pájaro”. Este hecho fue el precursor de la idea de montar una cámara en una ‘plataforma’ aérea no tripulada (Wilkinson, 2013; Prudkin, 2019) (Figura 7d).
- El concepto de una aeronave sin piloto fue introducido durante la Primera Guerra Mundial (1914- 1918), en forma de torpedos aéreos, que eran versiones primitivas

de lo que hoy son los misiles. Fue en la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) cuando los torpedos aéreos (vehículos a control remoto) fueron producidos en masa y utilizados las prácticas militares (Cuerno-Rejado et al., 2016; Prudkin, 2019) (Figura 7e).

- En la actualidad, no hay una fecha que dé inicio al uso drones civiles con aplicaciones recreativas y/o de investigación, pero si se sabe que el auge en la comercialización de los drones se da con el surgimiento de empresas de renombre. Un ejemplo es la compañía china DJI (fundada en 2006, DJI TM es una marca registrada de SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD., abreviada como “DJI” y sus empresas afiliadas). Simultáneamente, surgieron otras empresas, en otros países, como 3D Robotics, Parrot, entre otras, pero algunas han salido del mercado o se mantienen con un perfil más bajo debido a que DJI desarrolla tecnología cada vez más potente y sofisticada a un costo muy difícil de superar por las otras empresas (Puerto, 2015). Los centros de investigación, no se quedan atrás, algunas universidades organizan carreras de drones controlados con la mente (University of Florida, 2016) (Figura 7f).

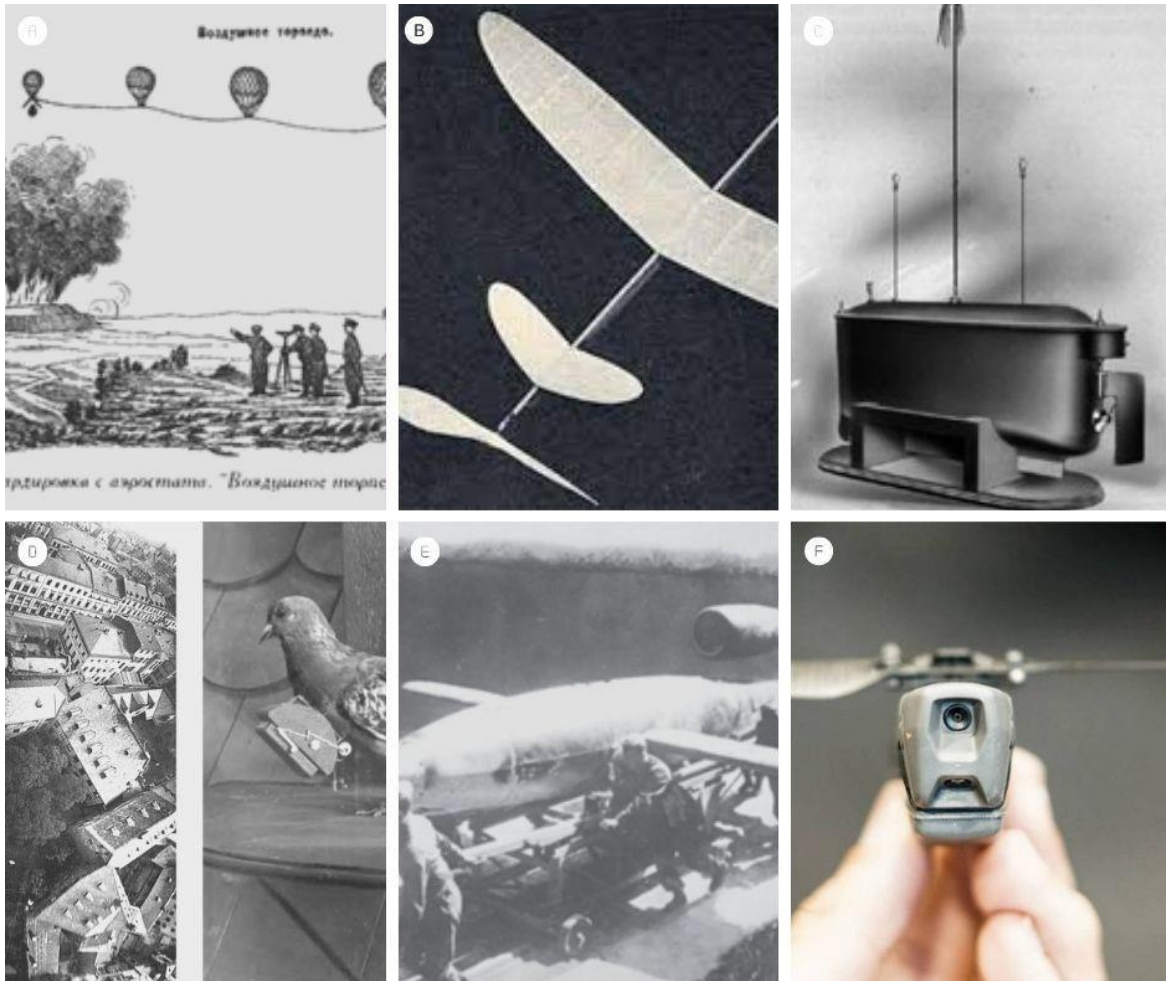


Figura 7. Acontecimientos significativos que tuvieron un fuerte impacto en la historia del origen de los drones. A) 1849, registro de primer de bombardeo aéreo con globos para no exponer la vida de los militares austriacos, B) 1871, Alphonse Penaud considerado como el “Padre del aeromodelismo” diseña el Planaphore, C) 1898, Nikola Tesla patenta el TELEAUTOMATON que emplea señales de radio y es considerado el “padre de los drones”, D) 1908, Julius Neubronner patenta la idea de colocar cámaras a las palomas y así se comienzan a capturar las primeras fotografías a vista de pájaro, E) 1914-1918 y 1939-1945 (I y II Guerra Mundial) militares hacen uso extensivo de la tecnología, la desarrollan y comienzan a fabricar torpedos aéreos e introducir el concepto vehículos a control remoto, y finalmente, F) grupo de civiles comienzan a emplear los drones con fines científicos y comerciales, llegando a tener en la actualidad drones cada vez más potentes, sofisticados por la tecnología de miniaturización (Fuente: Imágenes tomadas de internet. Elaboración propia).

4.1 Variedad y clasificación de los vehículos aéreos no tripulados

Existe una gran variedad de modelos de drones aéreos, los cuales se diferencian en su material de fabricación, forma, tamaño, peso, medio de propulsión, sensores integrados y capacidades operativas del vuelo (velocidad, distancia, tiempo de vuelo y capacidad de carga). Todo esto obviamente influye en el precio final del equipo, en el tipo de tareas a realizar y los ambientes en donde puede operar (Hemant et al., 2013). La clasificación de los drones toma en cuenta diferentes criterios para clasificarlos, por ejemplo: i) diseño de la

estructura: globos, ala fija (ala delta, a la recta), ala rotatoria (helicópteros, multicópteros), e híbridos, ii) forma de sustentación; flotar con aire caliente, planear, energía eléctrica, combustión, celdas de hidrógeno, iii) tipo de uso: recreativo, comercial, de investigación y militar, iv) peso en gramos: menos de 2 kg (micro), 2 hasta 25 kg (pequeño), y los de más de 25 kg (grande) (Eisenbeiss, 2009; SCT, 2019).

En la tabla 4, se menciona las principales características, así como las principales ventajas y desventajas de los drones aéreos tomando en el diseño de la estructura y las formas más frecuentes que se han empleado para la captura de información con fines científicos (Eisenbeiss et al., 2005, Martins, 2008; Niethammer et al., 2012; Hackney y Clayton, 2015; Ortega et al., 2016) (Figura 8).

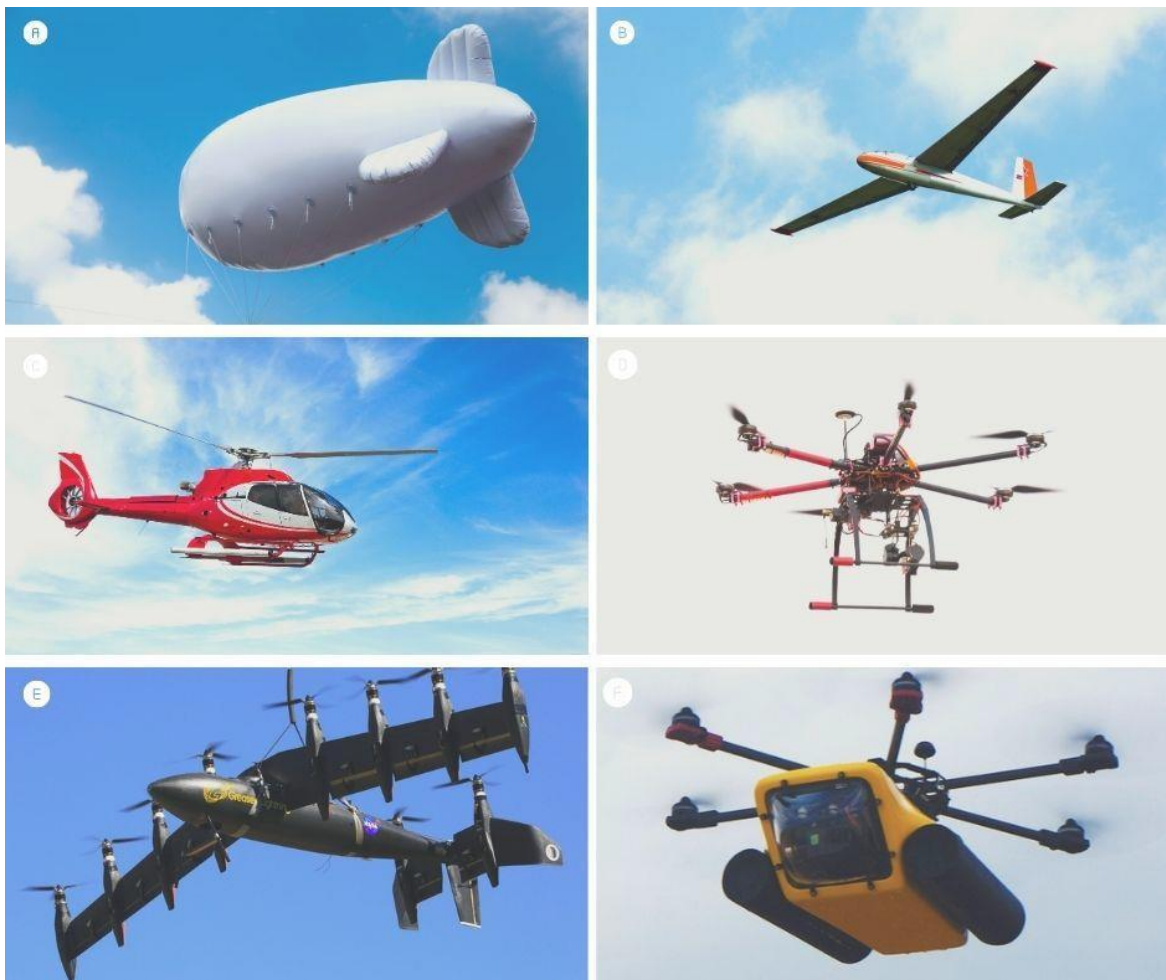


Figura 8. Variedad de drones aéreos de uso civil de acuerdo al diseño de su estructura., A) dirigible, B) dron de ala fija, C) dron ala rotatoria; helicóptero, D) dron ala rotatoria; multicóptero, E) dron híbrido que combina diseño de ala fija y rotatoria, y F) dron híbrido que combina características entre un dron que puede volar y flotar en un medio acuático (Fuente: Imágenes tomadas de internet. Elaboración propia).

Tabla 4. Comparación de las principales características distintivas de los drones aéreos, tomando en cuenta la clasificación de acuerdo al diseño de su estructura. Esta información en general, ya que depende mucho del modelo que se esté comparando por lo que algunos podrían resultar totalmente contrarios a lo que aquí se describe (*Fuente: Elaboración propia*).

Aeronave/ Características	Dirigible	Ala fija	Ala rotatoria		Híbrido*
			Helicóptero	Multicóptero	
Principal ventaja	Vuelo estático	Autonomía de vuelo (tiempo y distancia)	Autonomía de vuelo, maniobrabilidad	Maniobrabilidad y estabilidad	Autonomía de vuelo y maniobrabilidad
Principal desventaja	Vulnerable al viento	Complejas labores de aterrizaje/despegue	Poca estabilidad	Autonomía de vuelo	No tiene las ventajas al 100%
Operación	Fácil	Complejo	Complejo	Fácil a medio	Complejo
Capacidad de estar en vuelo	Alta (flota) 3 hrs	Alta (planea) 1 hr	Alta a media (rotores), eléctrico o gasolina 1 hr	Media a baja (rotores) Menos de 30 min	Alta a media (planea y usa rotores) 1 hr
Capacidad de carga	Alta	Alta a media	Alta a media	Media a baja	Alta a media
Costo	Bajo	Alto	Alto	Medio a bajo	Alto

5. Normativa que regula el uso de drones en México NOM-107-SCT3-2019

El uso y aplicación de los drones en las actividades civiles es muy amplia (ver apartado 6), equipos nuevos y mejor equipados salen cada año y la facilidad de adquisición de algunos de estos no supone complicaciones, por lo que cualquier persona con presupuesto los puede conseguir. Esto trae consigo una serie de cuestiones relacionadas con el uso estas aeronaves, ya que pueden emplearse por un operador con poca experiencia, por un piloto que enfrente una falla técnica con el equipo, o por algún usuario que realiza actividades mal intencionadas (espionaje, transporte de objetos prohibidos por la ley, o daño). Estas son algunas razones por las que la regulación de los drones se hace necesaria y requieren modificarse periódicamente en México y en todo el mundo (Estrada, 2018; Castañeda-Bastida, 2019).

Las dependencias que establecen las normas para el vuelo de RPAS (por sus siglas en inglés, Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia), generalmente pertenecen a alguna instancia gubernamental de control de aviación civil, por lo que, dependiendo del país, las normas pueden ser muy restrictivas como lo es el caso de Cuba en donde está muy controlado su uso, llegando incluso a prohibir el vuelo de estos aparatos (Pérez, 2018).

Antes de que la Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC), de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), regulara el uso de RPAS en México, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) era la dependencia encargada. En el 2017, la DGAC emitió su última Circular Obligatoria (CO AV-23/10 R4, 2017), y el 13 de enero de 2020, entro en vigor la Reglamentación Oficial NOM-107-SCT3-2019 que establece los requerimientos para operar un RPAS en el espacio aéreo mexicano (Dávila, 2019; SCT, 2019).

La NOM-107-SCT3-2019 clasifica a los drones según su peso máximo al momento del despegue en RPAS Micro (<2 kg), RPAS Ligero (>2 y hasta 25 kg) y RPAS Pesado (>25 kg); así como según su uso en Privado Recreativo, Privado No Comercial y Comercial, y dependiendo de estas dos clasificaciones hay ciertos aspectos a cumplir que tiene que ver con: i) la documentación y autorizaciones necesarias para operar un dron, ii) los límites de vuelo en términos de altura, distancia, velocidad y áreas de operación, y iii) las responsabilidades del piloto u operador de dron (SCT, 2019).

Por otra parte, si bien la normativa que regula el uso de drones se hace necesaria para mantener y garantizar un uso correcto por parte de la sociedad, esta supone una desventaja

en tareas de investigación, debido a que se limita el alcance de vuelo (altura, distancia de operación). Las aplicaciones de investigación son variadas y los drones se han integrado como una herramienta de estudio que presenta ventajas respecto a las técnicas tradicionales como: acceso a zonas de alto riesgo, reducción de costos y tiempo de trabajo de campo, acelerando el tiempo de la obtención de datos, y obteniendo imágenes de alta calidad y desde distintos ángulos, para generar información, pero para ello requieren volar más allá de lo que las regulaciones nacionales lo permiten (Salas, 2017).

6. Ventajas, desventajas y aplicaciones civiles de los drones

Las aplicaciones son los campos o áreas (por ejemplo, agricultura de precisión para investigación) en donde un dron se emplea para realizar una o más tareas (toma de fotografías, vídeo, etc.) (Figura 9). En diversos sectores, los drones ya se ponen en práctica en ciertas labores, en otras todavía están en vías de desarrollo, pero con la perspectiva de seguir incrementándose en el futuro porque han reemplazado, mejorado o complementado procesos (Hardin y Jensen, 2011; Samad et al., 2013) (Figura 10).

Dependiendo de la aplicación y del modelo del dron, se puede obtener una serie de ventajas que a continuación se mencionan de forma general. Cabe destacar una ventaja en determinada aplicación puede representar ser una desventaja en otra. Por ejemplo, documentar el patrimonio histórico con un dron es considerado una técnica no invasiva, llegando a ser invasiva en caso de provocar daño durante el vuelo. También, es una técnica invasiva cuando se trata del monitoreo de fauna al causar estrés a ciertos animales que pueden llegar modificar su comportamiento, esto debido al ruido emitido por el dron.

- Técnica no invasiva (fotografiar un monumento histórico).
- Reducción de tiempo y costos operativos para adquirir información (mapeo de un área de 20 has. en 10 minutos), o ejecutar una tarea (mapeo de zona devastada).
- Facilidad para adquirir un dron (ensamblar o comprarlo)
- Rapidez para obtener información de eventos que ocurren de forma inesperada (inundación) o que están sujetos a cambios en un periodo de tiempo reducido (crecimiento urbano).
- Perspectiva aérea (documentar el comportamiento ballenas).

- Estabilidad y precisión en los movimientos durante el vuelo (vuelos en espacios estrechos o entre obstáculos).
- Acceso a zonas remotas o de difícil acceso (mapeo de vegetación en escarpes).
- Posibilidad de realizar tantos vuelos como sean necesarios (documentar un evento cultural o deportivo).
- Posibilidad de cambiar la carga que transporta el dron (cámara térmica a multiespectral).
- Se reduce el margen de error de la captura de datos, sobre todo si esto se compara con la información obtenida por imágenes de satélite (agricultura de precisión).
- Posibilidad de obtener imágenes RGB (red, green, blue), térmicas, multiespectrales, hiperespectrales y LIDAR (depende del sensor que se emplee)
- Obtener información exclusiva del área de interés (mapeo de zona boscosa pero exclusivamente del área deforestada).
- Obtener información en tiempo real (documentar un incendio o una manifestación)
- Elección de la resolución espacial de acuerdo a la altura de vuelo y el sensor óptico (identificación de elementos de la vegetación).
- Obtener información para generar productos de alta resolución espacial (mapeo detallado de un sitio).
- Posibilidad de realizar mediciones y conteos de precisión (inventario de arbolado en un cultivo).
- Método sistemático para realizar una misma tarea en repetidas ocasiones bajo los mismos parámetros de vuelo (monitoreo de zona susceptible a deslizamientos).
- Posibilidad de realizar vuelos ante condiciones meteorológicas poco aptas para un vehículo tripulado (mapeo de zona devastada por un huracán).

Por otro lado, como parte de las desventajas de esta tecnología se puede mencionar que algunos representan desafíos que no han logrado superarse ya que la tecnología avanza rápidamente, otros son dados por las personas que los emplean y que no tienen nada que ver con la tecnología pero que al final se asocia.

- Técnica invasiva.

- Escala de trabajo limitada, a áreas pequeñas, (dependiendo del modelo del dron, pero la mayoría tienen limitaciones en las capacidades operativas como distancia, altura, tiempo de vuelo).
- Regulación de vuelo, muy permisiva en algunos casos en otros muy restrictiva y poco clara en algunos puntos que están sujetos a la interpretación del lector.
- Facilidad para adquirir un dron.
- Uso indebido de la tecnología (espionaje, bélico).
- Riesgos de uso que implica daños a terceros por la poca o nula experiencia en el uso.
- Riesgos de uso que implica una falla del equipo.

En el siguiente apartado se agrupan las aplicaciones en cuatro grandes categorías: i) apoyo humanitario, ii) uso comercial, iii) investigación, y iv) entretenimiento. Dentro de este mismo apartado, se mencionan algunas de las actividades de apoyo a la investigación en las que he colaborado y que no son proyectos propios, motivo por el cual algunas imágenes y datos de esta sección no se pueden presentar. La información aquí expuesta se ha recopilado de diversas fuentes, como artículos científicos y algunos documentos multimedia, por lo cual algunos son de carácter descriptivo. Cabe aclarar que en su mayoría pertenecen a aplicaciones con drones multicópteros, y que, si bien no son todas las aplicaciones y tareas existentes, se consideran representativas de lo que la industria de los drones ofrece actualmente.

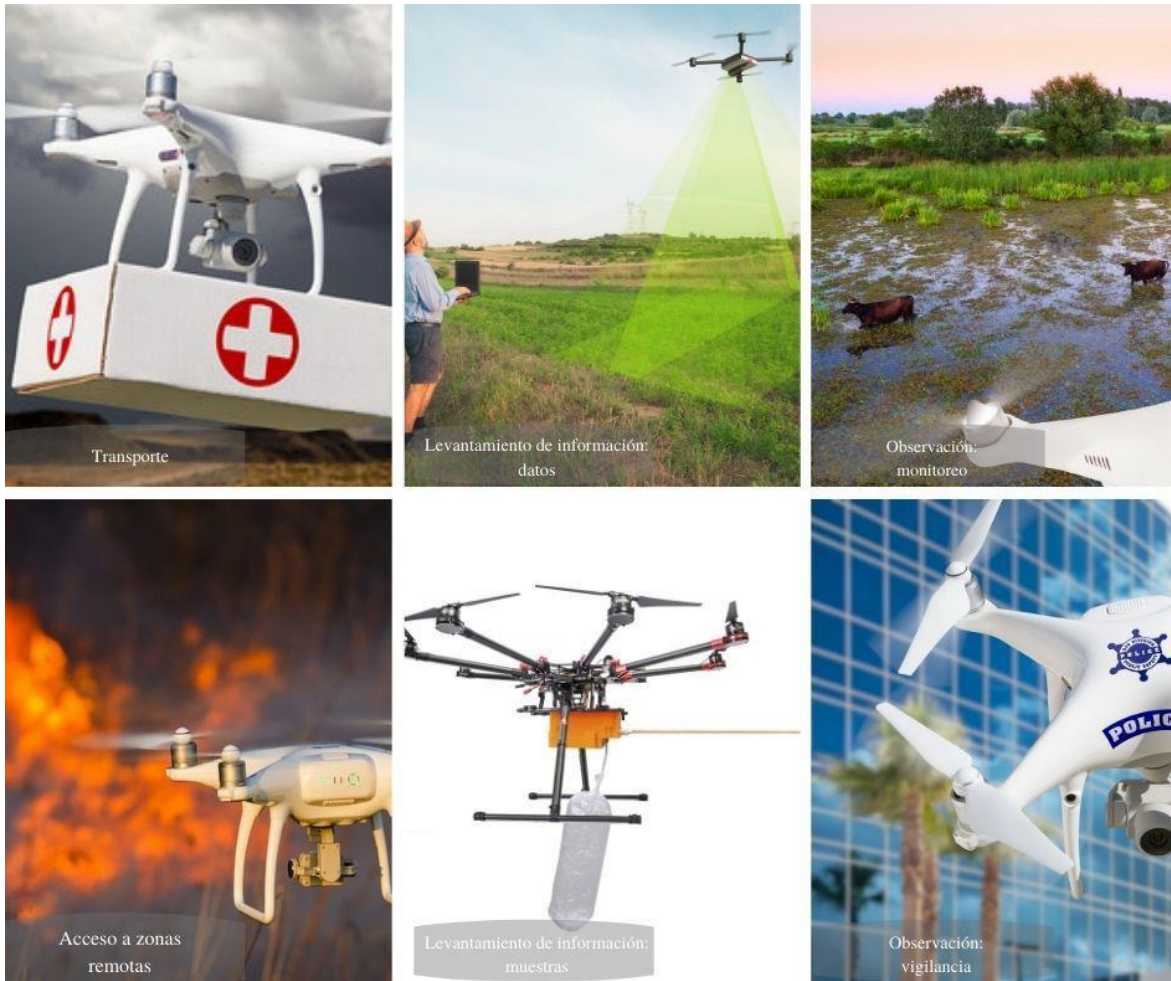


Figura 9. Aplicaciones y tareas que se realizan actualmente con los drones (*Fuente:* Imágenes tomadas de internet. Elaboración propia).



Figura 10. Esquema que agrupa las aplicaciones y tareas que actualmente realizan los drones. Todas las aplicaciones descritas en este documento pueden ser catalogadas en aplicaciones humanitarias, de investigación, de entretenimiento o comerciales, y sin importar que aplicación sea, las tareas que se realizan con los drones son transportar, levantar información ya sea a través de muestras o de datos, se observa (vigilar, inspeccionar), se documenta y accede a zonas remotas. Sin importar la aplicación o el tipo de tarea, el resultado es variable pero siempre supone una mejora de procesos o reducción de riesgos y costos operativos (*Fuente: Imagen tomada de internet. Elaboración propia*).

6.1 Aplicaciones de apoyo humanitario

Un dron que se emplea para apoyo humanitario es operado por servicios de emergencia como policías, bomberos, equipos de rescate, voluntarios, entre otros, y esto es porque los drones han cobrado relevancia por las tareas que pueden realizar y que incluso han sido un factor importante para salvar vidas. Esto porque transportan una carga que puede dar primeros auxilios o por la información que se obtiene en tiempo real cuando sucede un evento y que esta información ayuda a una mejor coordinación de las tareas realizadas en tierra, puesto

que se tiene un panorama más amplio desde el aire y se pueden transmitir datos a centros de mando para la toma de decisiones informadas (Pajares, 2015). Otra gran ventaja al emplear drones en apoyo humanitario, es que el tiempo en el que se obtiene la información puede ser inmediata lo que es clave para salvaguardar vidas, y que además el número de personas que se requieren para hacer una tarea se puede reducir drásticamente a una o ninguna con drones autónomos (Mármol, 2017).

6.1.1 Entrega de suministros

Los drones se usan para acceder a zonas remotas o peligrosas y realizar la entrega de suministros médicos o de cualquier otro tipo en zonas inaccesibles vía terrestre. Por ejemplo, en junio de 2017, el gobierno de Malawi y la fundación UNICEF, inauguraron el primer corredor aéreo africano para el uso humanitario con drones (UNICEF, 2017). El corredor está diseñado para proporcionar una plataforma controlada para el sector privado, las universidades y otros socios para explorar cómo los drones, pueden ayudar a brindar servicios que beneficien a las comunidades y escuelas. Las tareas que se llevan a cabo en este corredor principalmente son: i) imágenes: generar y analizar imágenes aéreas para el desarrollo y apoyo durante crisis humanitarias (inundaciones, terremotos), ii) conectividad: explorar la posibilidad de ampliar la señal de teléfono y de WiFi, con fines educativos o en caso de una emergencia las personas puedan comunicarse ya que normalmente deben caminar mucho (hasta 19 km) para solicitar ayuda en su comunidad, y iii) transporte: entrega de suministros pequeños de bajo peso (medicamentos, vacunas, diagnósticos de laboratorio, órganos para trasplante) (TechCrunch, 2016).

6.1.2 Desastres de origen natural y antrópico

En el marco de emergencias por desastres de origen natural y antrópico, los drones se han utilizado para cartografiar los sitios fuertemente afectados, y la información que se genera contribuye en la toma de decisiones para planificar la recuperación y reconstrucción de las zonas afectadas. Ejemplo de ello es el tifón Yolanda ocurrido en noviembre del 2013 en Filipinas, en donde se usaron drones (de ala fija) para generar un ortomosaico en tiempo real (Meier, 2015). Tras ocurrir un evento de este tipo y magnitud, pasarán uno o dos días antes de que las nubes se disipen por lo que las imágenes de satélite no proporcionarán información

inmediata, en cambio con los drones se pueden realizar vuelos a baja altura y por debajo de las nubes (Mora-Tebas, 2018). Cabe señalar que la implementación de drones en este tipo de emergencias está siendo aprobado y promovido por algunos gobiernos.

6.1.3 Búsqueda y rescate

Los drones pueden alcanzar una altura que permite una mejor visibilidad del terreno, y pueden llegar a lugares lejanos y de difícil acceso, lo cual es indispensable en tareas de búsqueda y rescate de personas. Dependiendo del equipo con el que se cuente, la búsqueda puede ser más completa si se integran otros sensores como una cámara infrarroja para buscar personas de día, de noche u otras condiciones desafiantes por el peligro que implican para los rescatistas. En otras situaciones en donde una persona se encuentra en peligro porque ha sido arrastrado por las olas de mar, los drones salvavidas pueden auxiliar en cuestión de pocos minutos identificando primero en donde y como se encuentra, y segundo recibe un inflable que le permite mantenerse a flote en lo que llega el cuerpo de rescate (AltiGator, 2020).

6.1.4 Defensa del territorio

El uso de drones por parte de comunidades tiene la finalidad de cartografiar la propiedad de tierra para defender el territorio. Por ejemplo, cartografiar el acaparamiento de tierras ocasionado por la expansión de cultivos, prácticas de minería u otro, permite tener evidencia para proteger los derechos territoriales de las comunidades. Para lograr esto, se capacita a activistas y personas de la comunidad en procesos de mapeo que va en algunos casos desde la construcción y ensamble de los drones, hasta el procesamiento de la información capturada (Radjawali y Pye, 2015 y Vargas-Ramírez, 2017).

6.1.5 Seguridad y vigilancia

Se emplean drones para complementar la seguridad y/o la vigilancia de diversos espacios, debido a su capacidad de acceder a lugares remotos y realizar una trayectoria de vigilancia. Los drones son utilizados como herramienta en los cuerpos de seguridad porque pueden ser equipados con cámaras de fotografía y vídeo con capacidades de acercamiento (zoom), con sensores termográficos, altavoces o luces para el seguimiento de delincuentes, control de fronteras, entre otros. En el caso de la vigilancia un dron puede estar programado para

ejecutar una ruta ya establecida de forma automática o manual y estar enviando información en tiempo real al centro de mando. Por otra parte, productos fotogramétricos también están siendo empleados para mapeo y reconstrucción 3D de escenas del crimen en accidentes, catástrofes, inundaciones, incendios (CROEM, 2018).

6.2 Aplicaciones en investigación

En la actualidad los drones se utilizan para realizar actividades de investigación científica en diferentes campos de aplicación (Aicardi et al., 2016 y Koeva et al., 2016), ya sea para realizar tareas de levantamiento de información (datos, obtener muestras), de vigilancia, de monitoreo, de transporte de algún tipo sensores especializados, o acceso a zonas remotas o peligrosas. Lo anterior representa una serie de beneficios que se pueden obtener a través de los drones, sin embargo, estos deben ser vistos como una herramienta tecnológica que puede complementar el trabajo de campo, más no reemplazarlo (Laliberte et al., 2011; Pajares, 2015).

6.2.1 Evaluación de desastres

Los desastres causados por fenómenos naturales y antrópicos provocan todo tipo de daños a la humanidad y, dependiendo del caso, pueden ocurrir de forma inesperada e incluso de forma periódica. Ejemplo de ellos son los desastres de tipo geológico-geofísico (deslizamiento o hundimiento de tierra, sismo, tsunami, erupción volcánica, incendio), hidro-meteorológico (inundación, tsunami, tormenta, huracán, sequía), biológico (epidemia, peste), y antrópico (guerras, explosiones, contaminación). Pero independientemente del fenómeno que se presente, son eventos que constituyen una amenaza importante para la población expuesta, por lo que es importante evaluar las condiciones de ocurrencia del peligro y de la vulnerabilidad de la población, de la infraestructura y de las actividades económicas, entre otras (Alcántara-Ayala, 2002). Esto con el fin de generar información crucial para los tomadores de decisiones y así generar planes de prevención para los habitantes de la zona. En este sentido, los drones se han empleado para documentar eventos y ver la magnitud del desastre, esto a través de la captura de imágenes o vídeos y su posterior procesamiento e interpretación (Figura 11). Todo esto es posible porque se puede medir y localizar elementos para obtener una caracterización precisa que permita evaluar la forma en que ocurrió el

fenómeno, o podría ocurrir, y caracterizar las zonas susceptibles a ellos (Peña-Guillén, 2016; Gómez-Castillo, 2020).



Figura 11. Mapeo de deslizamientos en Oaxaca en prácticas escolares de la ENES Campus Morelia., A) Mitlatongo de poco más de 4 km de la zona de deslizamiento, el acercamiento muestra las viviendas que quedaron bajo el agua y que fueron desplazadas hasta 300 m de su posición original (Andrade-Argueta et al., 2017), y **B)** mapeo del deslizamiento en Teposcolula, el acercamiento permite observar que una parte de la carretera fue desplazada (Sauzo-Cruz et al., 2017).

6.2.2 Cartografía

Las imágenes de satélite y las adquiridas desde vehículos tripulados han sido los medios convencionales para elaborar cartografía, no obstante, en algunos casos la resolución espacial no es la más adecuada para algunos trabajos, o representan un costo excesivo como para realizar la actividad de forma rutinaria (Whitehead et al., 2014; Aicardi et al., 2016). En este sentido, las imágenes capturadas con drones son el medio con el cual se obtiene información

para crear y actualizar mapas que requieren de mucho detalle o una periodicidad muy corta (Koeva et al., 2016). Los mapas como producto final de la cartografía presentan información de diversa naturaleza, a través de la cual se puede identificar, clasificar, medir, contabilizar e interpretar objetos (Samad et al., 2013).

La resolución espacial y temporal, así como, la obtención de información en tiempo real del área de interés, es parte de los beneficios más evidentes que se obtienen con los drones, para cartografiar o actualizar información. La precisión posicional, es otro beneficio en términos medios, ya que puede ser buena o mala, pero esto dependerá de aspectos que le conciernen al usuario al momento de elegir el sensor para la captura de imágenes, planear y ejecutar el vuelo y procesar la información (Mozas-Calvache y Pérez-García, 2017). Ejemplo de ello, es una mala planificación del vuelo que podría resultar en una captura de imágenes con un traslape insuficiente (menos del 60%).

6.2.3 Topografía

La obtención de mapas topográficos a escala grande (1:500 - 1:2,000) con drones ha incrementado en los últimos años, como una alternativa al levantamiento tradicional basado en sistemas de posicionamiento global (GPS) o en estaciones totales. Por lo general, el trabajo de campo tradicional tiene una mayor precisión posicional, comparado con el levantamiento de datos con el dron, pero esta última tecnología tiene la ventaja de que presenta mayor cantidad de información de la geometría del terreno u objetos. Esta comparación de la precisión generalmente se lleva a cabo utilizando métricas como el error cuadrático medio (RMSE). Cabe señalar que existen estándares de precisión posicional ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) que utilizan el RMSE para verificar si el producto cartográfico-topográfico alcanza un cierto valor de tolerancia de error dependiendo de la escala (Mozas-Calvache y Pérez-García, 2017).

Un modelo con errores conduce a malas interpretaciones, estimaciones de alturas o volúmenes, entre otras, por lo cual se debe asegurar una buena precisión en los productos que se generan. Lo anterior, se resuelve empleando puntos de control terrestre con un GPS submétrico o RTK (del inglés Real Time Kinematic). De acuerdo con Grenzdörffer et al. (2008) y Rokhmana (2015), las fuentes de error más comunes en la precisión tienen que ver con lo siguiente:

- El uso de cámaras que no son métricas.
- Capturas sin un sistema que estabilice la cámara (gimbal/tripie).
- Realizar un vuelo en donde las condiciones del viento puedan generar una desestabilización del dron que se traduce en imágenes con inclinaciones o desenfocadas, para ello habrá que revisar las especificaciones del fabricante porque dependiendo del modelo y de su peso, es la resistencia al viento.
- Omitir la calibración de la cámara antes del vuelo. Algunas cámaras requieren este paso, por ejemplo, el sensor térmico Flir Vue Pro R, o el multiespectral Parrot Sequoia.
- Emplear lentes con zoom porque cambian la distancia focal.
- Omitir colocar una escala, puntos de apoyo o puntos de control terrestre.
- Emplear un equipo GPS de baja precisión para la toma de puntos de control terrestre.
- No contar con un número adecuado de puntos de control terrestre, o colocarlos mal distribuidos.
- Contar con un sistema de navegación en el dron (IMU unidad de medición inercial, y GPS) poco preciso, porque puede haber una incorrecta sincronización en la coordenada del GPS y la captura de la imagen.
- Realizar una planeación de vuelo poco eficiente, por ejemplo, altura o traslape inadecuado.
- La presencia de vegetación u otros objetos que no permitan una completa visualización del terreno, pueden generar productos de mala calidad y de baja precisión, por ejemplo, un modelo digital del terreno (MDT) (Figura 12).

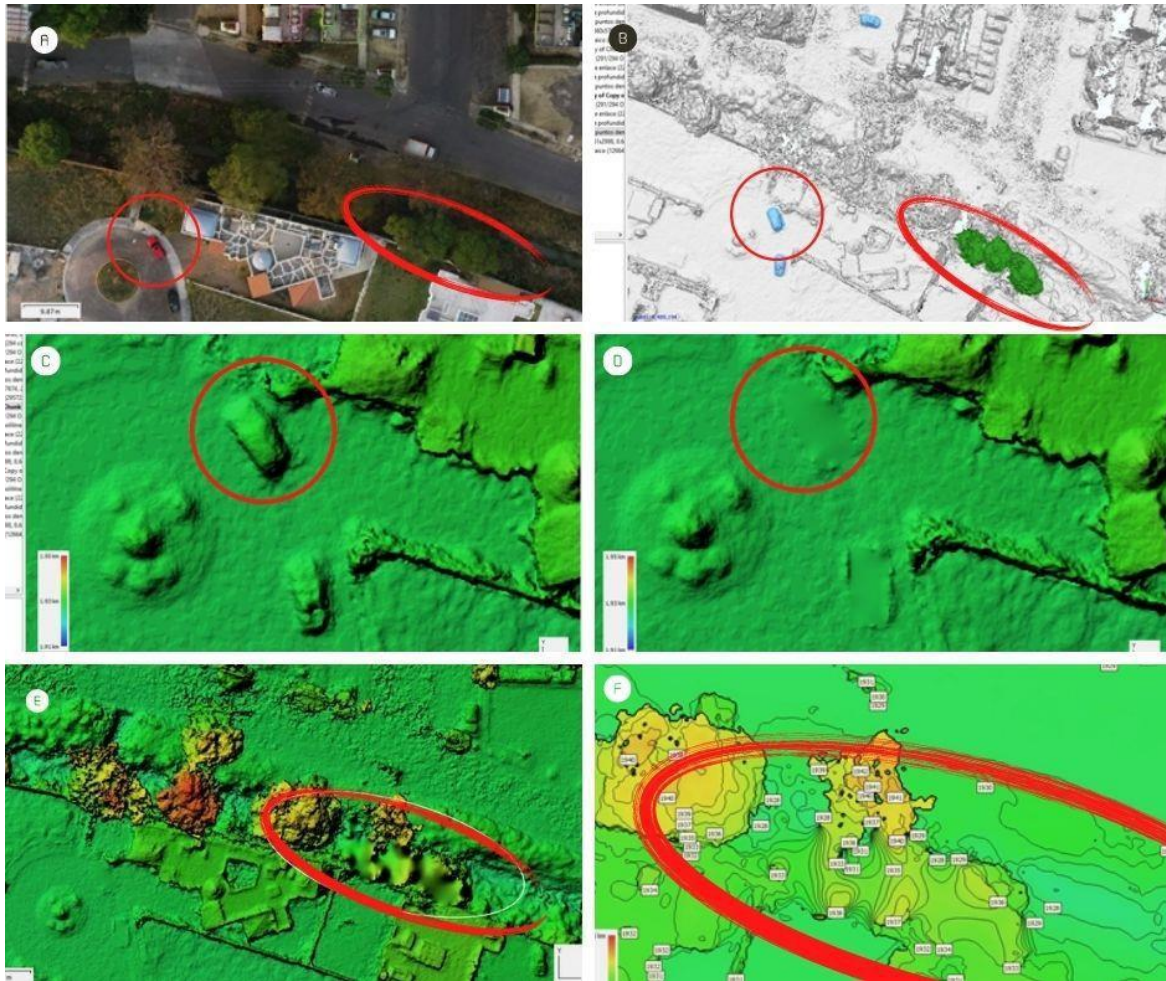


Figura 12. Ejemplo del resultado tras el proceso de imágenes con fines topográficos, en el programa Agisoft PhotoScan., A) ortofoto en la que se señalan dos objetos (vehículo, árboles) que pueden removerse de la nube de puntos, **B)** nube de puntos clasificada para los objetos de interés, **C)** modelo sin eliminar objeto, **D)** modelo eliminando objeto desde la nube de puntos, **E)** modelo removiendo objeto desde la nube de puntos, y **F)** modelo y curvas de nivel removiendo objeto. *Explicación;* al tratarse de un objeto con forma definida y sin sombras como el vehículo, éste se puede remover fácilmente de la nube de puntos, pero si el objeto no tiene una forma tan definida y además hay sombras, remover esto de la nube de puntos no es tan sencillo, y termina generando problemas para generar curvas de nivel. En otras palabras, el objeto solo es “suavizado” pero no se remueve por completo desde Agisoft, para ello hay que emplear otro software (*Fuente:* Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

6.2.4 Incendios

Con el uso de drones es posible detectar, contener e incluso combatir incendios. Esto es posible gracias al uso de sensores ópticos y sensores térmicos que permiten identificar, cartografiar y vigilar la extensión de la zona que es afectada. Con estos sensores se puede transmitir la información en tiempo real a los centros de mando, y se pueden identificar personas, animales, puntos que aún guardan calor, incluso cuando la visibilidad está limitada

por la iluminación, el humo o la vegetación, permitiendo que los equipos de emergencia determinen exactamente donde se necesita ayuda (Coleman, 2019).

Por otra parte, contener y extinguir el incendio también ha sido probado con los drones que transportan agua, arena o algún líquido retardante de fuego, o bien, están conectados a una manguera que les provee energía y el insumo con el que se combate el fuego (Figura 13ab). También existe la posibilidad de crear una barrera cortafuegos para bloquear el fuego evitando que el incendio se extienda y/o se cree un perímetro de seguridad alrededor de brigadas o crear un corredor de escape en caso de emergencia (AERONES, 2017 Sacristán, 2019).

El reto de trabajo con muchos drones que han sido diseñados para este tipo de tareas está relacionado con el tiempo que se pueden mantener en vuelo, con la capacidad de carga y la resistencia al calor. Tomando en cuenta este último punto, también se ha pensado en combatir los incendios antes de que estos se produzcan, es decir emplear drones para provocar incendios controlados y reducir de esta manera el combustible que podría aumentar la intensidad o duración en un incendio forestal (University of Nebraska-Lincoln, 2015).

A continuación, se muestra un ejemplo puntual de una actividad que realicé como apoyo a la investigación en el LUD. En el mes de abril y mayo de 2016, ocurrió un incendio forestal en las cercanías de la UNAM Campus Morelia (polígono 7404508 de la Base de Datos de Incendios) (CONABIO, 2019). Se realizaron una serie de vuelos con drones Phantom 3 (versión Standar y Professional) para documentar el incendio forestal, en donde se puede apreciar a través de fotografías y video aéreo, la ubicación, el avance del fuego (dirección y rapidez) y magnitud del evento, así como la labor de las brigadas que combaten el incendio (Figura 13c).



Figura 13. Los drones y su relación con los incendios., A) dron para apagar incendios capaces de transportar hasta 300 litros de agua nebulizada, B) dron conectado a una manguera que le suministra agua y otra que le da energía para mantener el vuelo mientras se apaga el incendio (*Fuente:* Imágenes tomadas de internet), y C) fotografía capturada al momento de producirse un incendio forestal en las cercanías de la UNAM Campus Morelia (*Fuente:* Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

6.2.5 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión (AP) es la aplicación de técnicas y sensores geoespaciales para identificar variaciones en el campo y tratarlas mediante estrategias que permitan minimizar los riesgos y maximizar los rendimientos de un cultivo. Cuando un cultivo está expuesto factores que reducen la productividad (plagas, enfermedades, entre otras), se genera una situación alarmante porque un alto porcentaje de la población a nivel mundial depende de los campos agrícolas (Mogili y Deepak, 2018). En respuesta a esta situación, las plagas o enfermedades se combaten mediante la aplicación de pesticidas o fertilizantes. Estos insumos suelen ser rociados directamente por personal a nivel del terreno, lo cual, si bien es más

tardado por la extensión a cubrir, podría ser más económico y preciso que contratar una avioneta, porque se aplica directamente a la planta o área que se requiere sin desperdiciar, no obstante, estas personas son propensas a sufrir daños en su salud (Mogili y Deepak, 2018).

La principal fuente de información en la agricultura de precisión son las imágenes que se obtienen de forma remota a través de sensores multiespectral, hiperspectral, térmico o RGB. Estos sensores pueden encontrarse muy distantes del cultivo cuando se hace la captura desde un satélite, una avioneta, o muy cerca del nivel del cultivo si se emplean drones (altura variable). La distancia en la captura de información puede influir en la precisión de los datos, ya que a mayor distancia hay más factores que podrían estar modificando la respuesta espectral (por ejemplo, la atmosfera) (Chuvieco, 1996; Laliberte et al., 2011). Los drones, también se pueden emplear como herramientas para la aplicación de insumos en áreas focalizadas (semillas, productos químicos, entre otros) (Peláez-López, 2020).

De las tareas mencionadas, la primera es la más recurrente, debido a que la mayor parte de los drones comerciales trae integrada una cámara óptica RGB, con la resolución necesaria para recopilar información (hasta cierto punto limitada). No obstante, con una cámara multiespectral se obtiene información de la banda NIR que es muy útil para determinar si un cultivo presenta estrés hídrico, lo cual se refleja con una disminución de la actividad fotosintética (los pigmentos de clorofila son los principales determinantes de la reflectancia de la vegetación verde). Esto se determina por medio de índices de vegetación tales como el Índice de Vegetación de Diferencial Normalizada (NDVI), que actualmente es el más empleado para hacer un seguimiento de las sequías, supervisar y predecir la producción agrícola, ayudar en la predicción de las zonas con riesgo de incendio y cartografiar la desertización (Zhang y Kovacs, 2012; Candiago et al., 2015; Ren et al., 2017). A continuación, se mencionan puntualmente algunas de las tareas que se pueden desarrollar con los drones y sus diferentes sensores, para más detalles revisar el proyecto de Pajares, (2015) y Luís-Pádua et al. (2017):

- Cartografía del área de interés
 - Ortofoto RGB (inventario), térmica (saturación o estrés hídrico), multiespectral (estado de salud).
 - Determinación de características topográficas del terreno (Modelo Digital de Superficie).

- Propiedades del suelo (humedad, temperatura, salinidad).
- Cuantificación de diferentes variables
 - Conteo de plantas individuales.
 - Estimación de altura del cultivo.
 - Estimación de volumen de cultivo.
- Monitoreo del cultivo
 - Crecimiento diferencial (cosecha selectiva).
 - Estado de salud (detección oportuna de plagas, requerimientos nutricionales, estrés hídrico, saturación de agua, etc.).
 - Rendimiento de los cultivos (detección de malezas).
- Suministro de insumos
 - Semillas (siembra mediante drones).
 - Fertilizantes, plaguicidas, etc. (aplicación aérea de estos insumos).

Del listado anterior, cabe destacar que colaboré en un proyecto donde se elaboró un inventario del arbolado en una huerta de Naranjas llamada “Las Vegas”, en Linares (Nuevo León, México). El vuelo se ejecutó en el mes de agosto del 2015 y se empleó una cámara óptica de 12 MP, la cual forma parte de los sensores que trae integrada la plataforma aérea de la marca China DJI, modelo Phantom 3 Professional. Se cubrieron 66 has. a través de 8 vuelos ejecutados de forma manual, manteniendo una altura y velocidad constante de 100 m y 5 m/s, respectivamente. Se procesó un total de 667 imágenes, con las cuales se generó un ortomosaico (3.9 cm/pix), y un MDS (Modelo Digital de Superficie) (8 cm/pix), que permitió: i) mapear y detectar 14,239 árboles, de los cuales 972 fueron identificados con un daño aparente (ramas secas, plagados con alguna planta parásita o muertos), ii) identificar áreas con pastos o malezas (plantas invasoras) en la huerta, para la planeación de prácticas de campo (siembra, aplicación de herbicidas, etc.), iii) identificar lotes de árboles tomando en cuenta la cobertura de la copa y/o la altura aproximada, y iv) detección de zonas con malas prácticas de riego (zonas con exceso o deficiencia de agua) debido a la pendiente que trae consecuencias en la dirección del flujo del agua) (Figura 14).

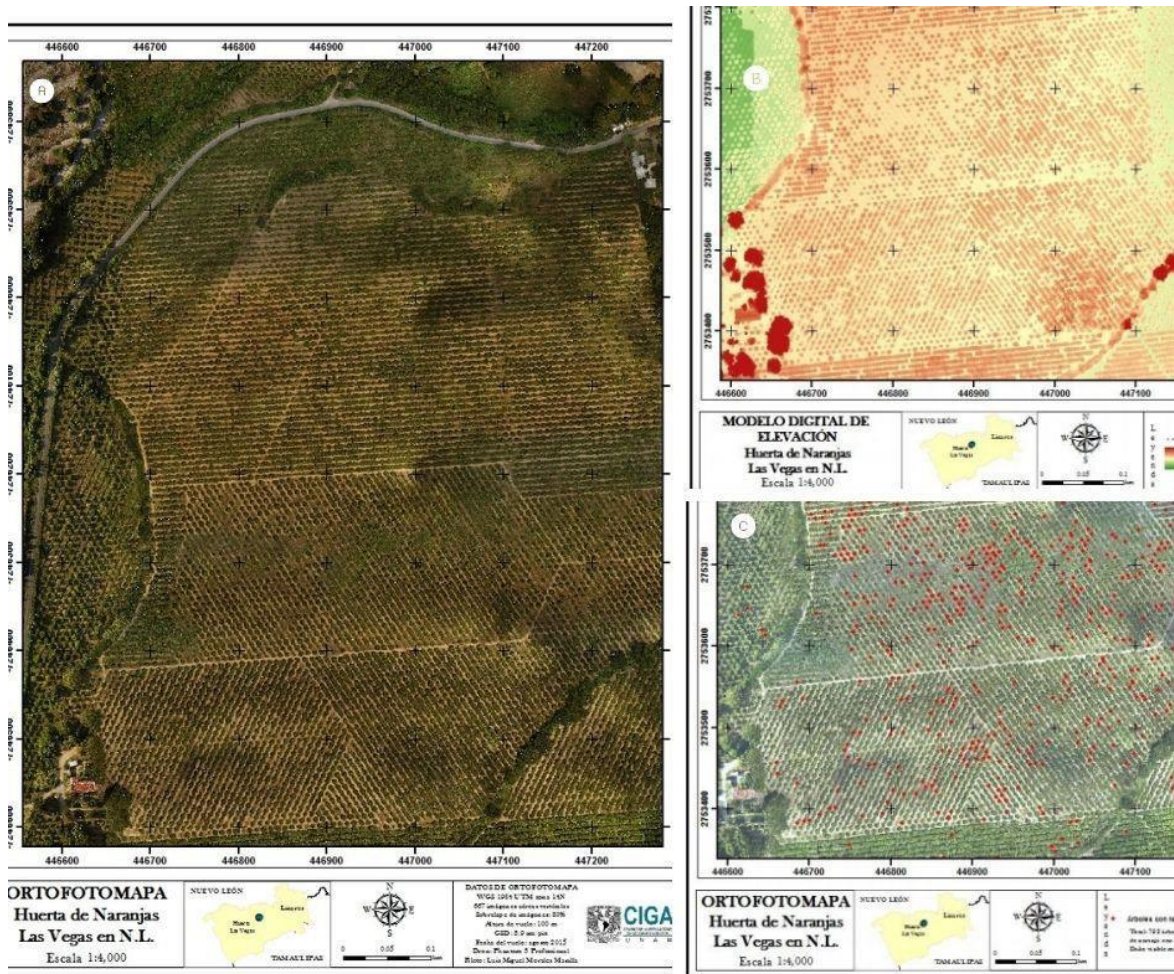


Figura 14. Inventario del arbolado en una huerta de Naranjas “Las Vegas”, en Linares, Nuevo León, México, (agosto 2015), A) ortofoto de la huerta, B) modelo digital de elevación para definir altura de árboles en lotes, y C) ortofoto con localización de árboles de naranja con algún daño aparente (ramas secas o infestación de una planta parásita) (Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

6.2.6 Arqueología y documentación del patrimonio

El patrimonio arqueológico constituye el registro de las actividades en diferentes periodos de la historia humana. Sin embargo, este patrimonio histórico generalmente está expuesto a múltiples factores que lo deterioraran parcial o totalmente, por lo que su protección y manejo adecuado esencial para su conservación. Gran parte de este trabajo se realiza directamente en campo y/o a través de la captura de información como pueden ser vídeos o imágenes. Esta información es obtenida mayormente con un sensor RGB; sin embargo, el uso de otras cámaras como la térmica infrarroja o ultravioleta, también son de gran utilidad. Con ambos sensores se puede generar valiosa información, por ejemplo, para detectar, inventariar y realizar mapeo de zonas con deterioro (grietas, humedad y daño físico), realizar un análisis

estructural o patológico, o llevar un registro en caso de una intervención o restauración, entre otras (Lerma-García et al., 2011; Rinaudo et al., 2012).

Un insumo generado a través de imágenes y que es de mucha utilidad para los arqueólogos son las reconstrucciones tridimensionales o modelos 3D de los artefactos o escenarios que excavaron, porque a través de ellos es posible analizar y extraer la información necesaria en cualquier momento sin invadir o dañar la excavación que aún puede contener información muy valiosa. Además, estos insumos permiten ser medios de documentación digital para preservar la información con la posibilidad de ser medios para la divulgación científica (Lerma-García et al., 2005). En la figura 15, se presentan dos ejemplos de esta aplicación en donde empleamos los drones del LUD como herramienta para documentar el espacio interior y exterior de templos.



Figura 15. Ejemplos de documentación del patrimonio histórico., A) ortofoto de un retablo de oro para evaluar la estructura en una iglesia en Morelia, Michoacán, empleando un Mavic Pro (febrero 2018), y **B)**

modelo 3D de la plaza principal de un templo en Landa de Matamoros en Querétaro, empleando un Phantom 4 Pro (mayo 2017) (Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

6.2.7 Aplicaciones en las Ciencias de la Tierra

La diversidad de capacidades que ofrecen los drones para la adquisición de información hace extensivo su uso en diferentes aplicaciones en las Ciencias de la Tierra, esta posibilidad se incrementa si se considera que se pueden incorporar más sensores que capturen datos, por ejemplo sensores ópticos (RGB, térmica, multiespectral), LIDAR (nube de puntos), sensores geofísicos (gravimétricos, electromagnético), sensores geoquímicos (para capturar gases o elementos químicos o radioactivos) y sensores de radar y sonar (Fernández-Lozano y Gutiérrez-Alonso, 2016). En la recopilación de aplicaciones en las Ciencias de la Tierra, Pajares (2015), menciona varios ejemplos de uso de drones aplicados a erosión de suelo, deslizamientos, minería, inspección volcánica.

Un ejemplo para mostrar las tareas que puede realizar el dron lo describe Fernández-Lozano et al. (2018) en una mina, en donde se presentan condiciones poco favorables para que las personas trabajen a causa del polvo, ruido, lugares de difícil acceso y otras condiciones que se presentan en minas a cielo abierto. Una de las primeras tareas que se realiza en una mina, o un área que potencialmente será una mina, es la prospección, es decir, la exploración del terreno en búsqueda de recursos naturales (yacimientos geológicos, minerales, agua). Realizar esta actividad demanda tiempo y esfuerzo; sin embargo, con los drones esta tarea se realiza en menor tiempo. Posteriormente, cuando la mina está en operación, es factible usar el dron para tareas de monitoreo de la estabilidad de los taludes, o simplemente para hacer cálculos volumétricos precisos.

6.2.8 Urbanismo/Catastro

A través de las imágenes obtenidas mediante los drones es posible adquirir información actualizada sobre el territorio, para fines de control y planificación urbanística de un municipio o un nuevo desarrollo. La importancia de obtener información en tiempo real, se da porque algunos nuevos desarrollos tienen un crecimiento acelerado que no se puede apreciar en las imágenes de satélite (de consulta gratuita), y que para su estudio se requiere cartografía del sitio. Las imágenes y productos que se pueden generar con los drones (ortomosaico), han logrado tener un impacto positivo en estos desarrollos, sirviendo de apoyo

para los líderes en su toma de decisiones y también para continuar haciendo gestiones que han realizado ante la autoridad municipal para tener acceso a los servicios básicos como alumbrado público, agua potable, entre otros (Cárdenas-Nielsen, 2020) (Figura 16).



Figura 16. Asentamiento irregular ubicado en la periferia de la ciudad de Morelia, Michoacán., A y C) captura de pantalla extraída el 11/05/2020 de Google Earth (fecha de la imagen 11/07/2017) y acercamiento de la imagen, esto muestra que la información disponible de esta zona y en esta plataforma no es reciente, B y D) Ortomosaico sobrepuesto en Google Earth generado con Phantom 4 Pro (septiembre 2019), y acercamiento de la imagen (Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

6.2.9 Monitoreo de flora y fauna

En este tipo de aplicaciones es muy factible que se empleen drones de todo tipo, debido al tipo de tareas que tienen que realizar en diferentes ambientes (terrestre, marino o aéreo), en algunos será más apropiado emplear drones aéreos, en otros terrestres, acuáticos, submarinos o incluso híbridos. Además de los drones, los sensores también pueden variar, pues no solo

se emplean sensores ópticos, sino también de LIDAR, térmicos, acústicos, entre otros (Raoult et al., 2018; Jiménez-López y Mulero-Pázmán, 2019).

Los métodos convencionales para el estudio de la vida silvestre de flora y fauna requieren de un monitoreo periódico del estado de sus poblaciones y de sus hábitats, pero en su mayoría, implica un intenso trabajo de campo y altos costos para adquirir equipo o pagar al personal involucrado. La tecnología de los drones está impactando en los métodos convencionales usados para el monitoreo, porque facilitan la captura de datos mediante métodos menos invasivos y de mayor alcance geográfico (acceso a espacios o perspectivas de difícil o peligroso acceso) (Mandujano et al., 2017). No obstante, esta generación de datos dependerá de la capacidad de visualización, es decir, del sensor que se emplee y su capacidad de “ver” a través de la vegetación o del agua (aguas someras o con turbidez). Los sensores ópticos de más amplia utilización son los RGB (censo, identificación de especies, mapeo de hábitat), sensores térmicos (animales de hábitos nocturnos en la selva o que viven en aguas someras), y sensores multiespectrales (respuesta espectral de las plantas). Para más detalles se puede consultar las obras de Mandujano et al. (2017) para flora Anderson y Gaston, (2013) y Wich y Koh (2018) y Jiménez-López y Mulero-Pázmány (2019), para flora y fauna Raoult, et al. (2018). En la siguiente lista se mencionan en general algunas de las tareas que se realizan con drones en este ámbito de aplicación:

Flora

- Identificación e inventario de especies (Figura 17).
- Evaluación y medición de atributos de la vegetación, por ejemplo, determinación de alturas y biomasa, especialmente de espacios en donde los individuos se encuentran espaciados de tal manera que es posible ver la estructura del árbol, ya que estas mediciones difícilmente se pueden hacer en espacios donde la vegetación es densa.
- Propagación de especies invasoras.
- Caracterización y cartografía del hábitat (bidimensional y tridimensional).
- Cálculos de superficies (deforestadas, reforestadas, etc.).
- Siembra de semillas (reforestación).

Fauna

- Conservación y manejo de especies a través del conocimiento de las especies por ejemplo patrones de movimiento (movimiento a pequeña escala, pero de alta precisión en escalas de tiempo cortas como trayectorias y velocidad), densidad de individuos, condición corporal.
- Evaluación directa del comportamiento (interacción ambiental, especialmente para especies que se mueven mucho). Hay que considerar el ruido que generan los drones y que puede provocar estrés en algunos animales, llegando a modificar el comportamiento de los animales, incluso de animales acuáticos.
- Definir áreas de importancia ecológica (sitios de anidación, reproducción, alimento).
- Caracterización del hábitat (medir condiciones ambientales temperatura, presión, detección de desechos marinos).
- Mapeo de hábitat, bidimensional y tridimensional
- Detección de caza furtiva
- Vigilancia de especies sujetas a algún tipo de protección

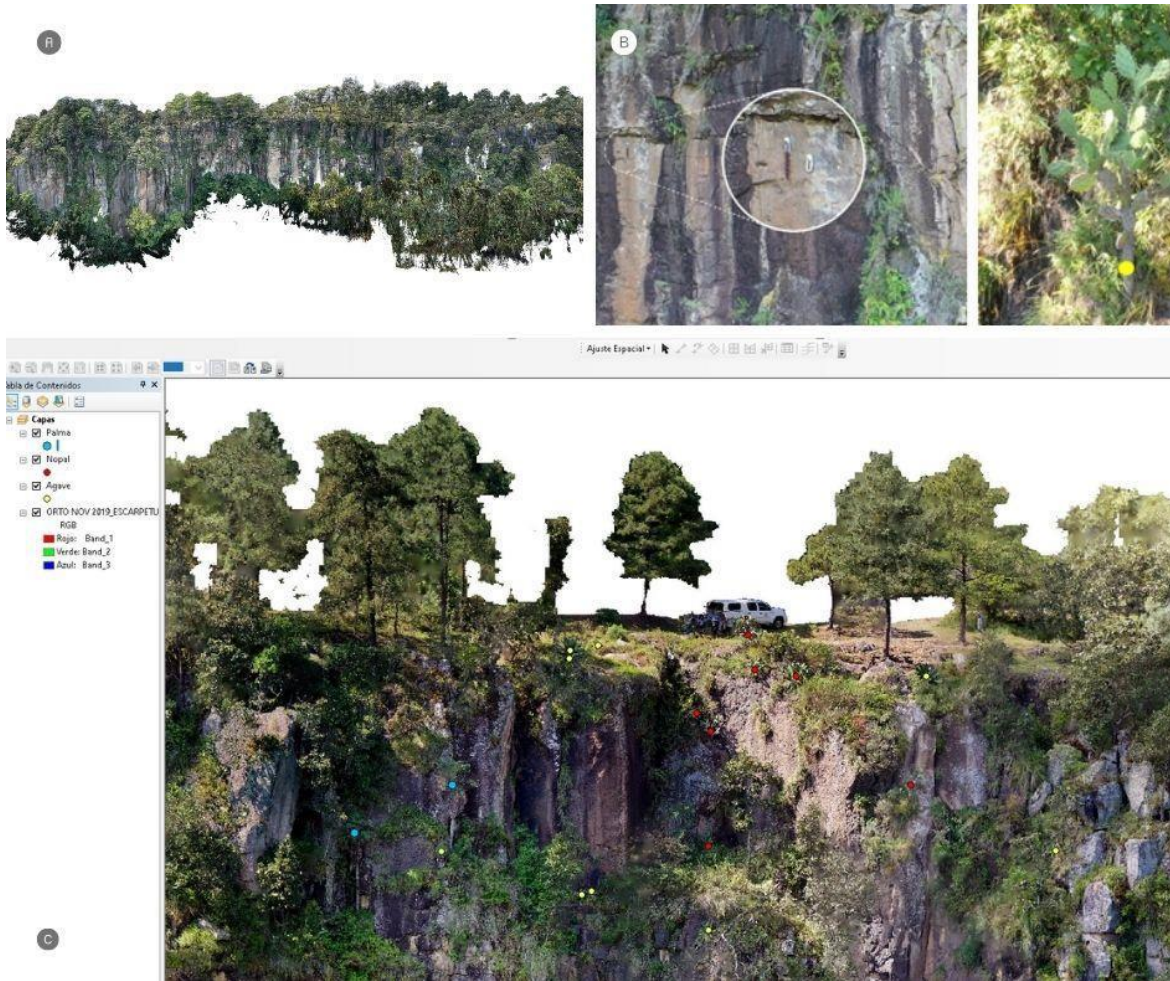


Figura 17. Ortofoto de un escarpe para realizar el censo e identificación de especies vegetales en Tumbisca, Michoacán, el vuelo se realizó con el Mavic 2 pro (noviembre 2019)., A) ortofoto completa del escarpe, B) acercamiento para identificar algunos elementos vegetales, el nivel de detalle permite observar la línea de vida de los escaladores, y C) ortofoto sobrepuesta en Arc Map para digitalizar la vegetación (Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia).

6.3 Aplicaciones comerciales

Las actividades comerciales se desarrollan porque a través de los drones se puede ofrecer un servicio, el cual puede ser desde la toma de fotografías con fines audiovisuales hasta realizar levantamientos topográficos. Algunas de las aplicaciones comerciales, iniciaron como una labor de investigación o quizá de ocio, pero a través de un corto tiempo se ha mejorado su utilización y se ha obtenido provecho de ello. Ejemplos de lo anterior, se representan con el dron que cambia un foco (Ghlargh, 2016), el que pinta una fachada (Apellix, 2016) o el que se emplea para arrear al ganado (SKY SERVICE COLOMBIA, 2015). Los videos de los casos mencionados, muestran los primeros intentos por incorporar esta herramienta a las

tareas cotidianas. Cuando la tarea se domina, se emplea en espacios verticales y horizontales de grandes dimensiones ya sea para cambiar las luminarias fundidas de un gran escenario, pintar la fachada de edificios muy altos y limpiar las ventanas, o arrear al ganado al mismo tiempo que hace un conteo y monitoreo de la ubicación de estos animales.

6.3.1 Construcción y seguimiento de obra

El uso de drones facilita la inspección y vigilancia de diversas industrias, de forma rápida y económica. Por ejemplo, la construcción de un edificio es un proceso largo, el cual requiere planificación, estudio del avance de la construcción y captura de todo tipo de datos. Generalmente, estos procesos se realizan manualmente, lo que no solo resulta tedioso sino también lento en el proceso de adquisición de datos (Ruiz, 2018). El uso de los drones permite llevar a cabo esta tarea de forma sistemática al planificar una ruta para que se ejecute de forma automática a lo largo del tiempo, y de esta forma se pueda analizar la evolución de la obra (Terrasat, 2020) (Figura 18). En realidad, las tareas son muy diversas, a continuación, se mencionan algunas:

- Material audiovisual de apoyo para la venta de inmuebles o propiedades (mostrar imágenes o videos, modelos 3D).
- Cartografía del área en donde será la construcción (inspección del sitio).
- Evaluar la condición de una construcción (conocer el estado funcional de la estructura buscando defectos, fallas).
- Seguimiento continuo (para generar informes de progreso de una construcción, comparar avances).
- Supervisión de la construcción (una vista aérea ayudará en la supervisión de la seguridad de la obra debido a la cantidad de maquinaria pesada, además ayudará a alcanzar áreas inseguras e inaccesibles).
- Vigilancia para proteger contra vandalismo y robo.
- El mantenimiento preventivo (implica un ahorro de costes considerable en el mantenimiento de sus estructuras e instalaciones, por ejemplo, para el mantenimiento de la impermeabilización de los techos de una construcción).
- La inspección térmica refleja la temperatura en la superficie y proporciona gran cantidad de información sobre los elementos de inspección. Mediante la técnica

del uso de la termografía se pueden generar imágenes a partir de la radiación infrarroja emitida por un objeto, estando ésta directamente relacionada con la temperatura del mismo sin existir contacto físico, por lo que se pueden detectar rápidamente averías o funcionamientos incorrectos, por ejemplo en fugas de agua tendidos eléctricos, sistemas de calefacción, ventilación (filtración de aire, bloqueos en tuberías), detección de grietas por cambios de temperatura (acumulación de humedad), localización de plagas, vigilancia, etc.

- La seguridad industrial tiene por objeto la prevención de limitación de riesgos, así como la protección contra accidentes y siniestros capaces de producir daños derivados de la actividad industrial o de la utilización de instalaciones o equipos industriales.

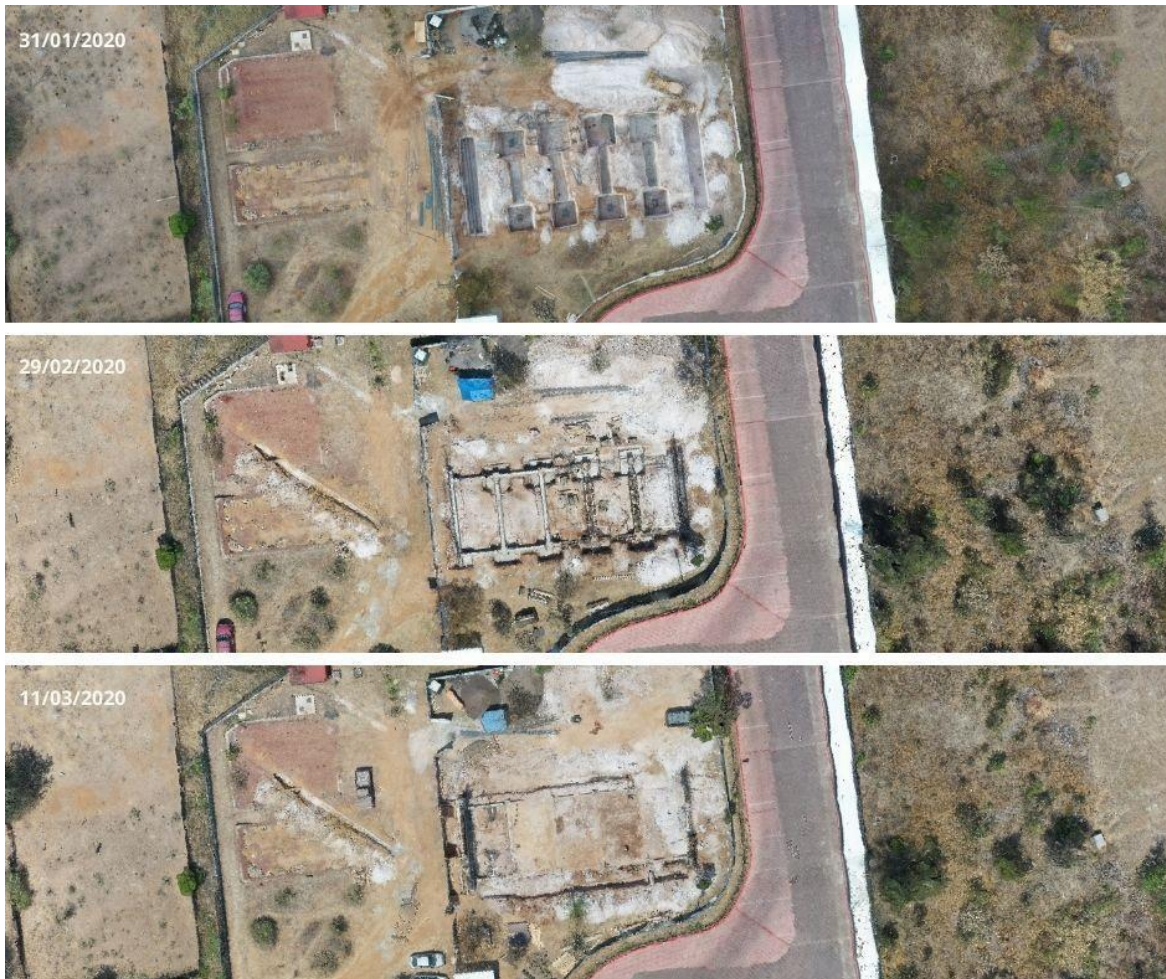


Figura 18. Seguimiento de obra del edificio de la UDIR (Unidad de Investigación sobre Representaciones Culturales y Sociales), de la UNAM Campus Morelia (2020). Este ejemplo representa lo que podría ser el seguimiento de obra con fines comerciales, sin embargo, esto es un proyecto que se realizó para la UNAM Campus Morelia (*Fuente: Acervo fotográfico del LUD. Elaboración propia.*)

6.4 Aplicaciones de entretenimiento y documentación

Mediante la utilización de Vehículos Aéreos no Tripulados es posible obtener fotografías aéreas de alta calidad, estas pueden ser de cualquier tipo, verticales, oblicuas, panorámicas o de 360°. Así, de igual modo se pueden obtener videos de alta resolución de los cuales es posible captar fotografías individuales y tratarlas en postproceso. Todo esto es útil para dar seguimiento de la retransmisión de eventos en vivo desde el aire. Asimismo, pueden ser de mucha utilidad los productos fotogramétricos que se pueden generar para mostrar la información a diverso tipo de público, por ejemplo, un modelo 3D (Gobierno de España, 2018). Se enlistan a continuación algunas de las aplicaciones:

- Cine y televisión; su uso en la industria cinematográfica permite el rodaje de imágenes aéreas y la obtención de imágenes panorámicas para películas, comerciales o cualquier actividad que requiera publicidad o promoción audiovisual.
- Entretenimiento; los drones comienzan a incursionar en el mundo del entretenimiento, pero no grabando el evento, más bien formando parte de él, como se ha visto en eventos masivos en donde un enjambre de drones ejecuta un espectáculo visual de manera coordinada automáticamente.
- Transporte de personas; en Dubái y China ya se desarrollaron y están operando de forma regular los drones capaces de transportar personas en su interior, para ofrecer un servicio de transporte como lo haría un taxi.
- Paquetería; muchas empresas de renombre están empleando drones para entrega de paquetes que contiene alimentos, bebidas o compras en línea.
- Fotografía y vídeo artístico, recreativo, científico, informativo.

6.4.1 Periodismo, comunicación y televisión

Profesionales dedicados a expresar y difundir a la sociedad diversos temas, hacen uso de distintas herramientas para su comunicación. El uso de estas herramientas ha evolucionado a través del tiempo a la par que la tecnología, pasando de la escritura a mano, a las cintas de grabación, cámaras fotográficas y de video, y ahora al vuelo de drones. El uso de drones en estas profesiones ha incrementado en los últimos años, y de hecho ya se cuenta con un manual de operación de drones para periodistas (Waite y Kreimer, 2016), porque con esta

herramienta se pueden presentar noticias con mayor cobertura, se tiene acceso a la información desde diferentes perspectivas y se cuenta con una “riqueza visual” de la información presentada (Saura y González, 2015; Gallardo-Camacho y Lavín, 2016), ejemplos de algunas actividades son:

- Manifestaciones, cálculo de número de manifestantes, seguimiento y grabación del evento, de los manifestantes y elementos periféricos (policía, vecinos, vandalismo, etc.).
- Eventos deportivos y culturales, cálculo de número de asistentes, seguimiento y grabación del evento, transmisión en vivo.
- Zonas conflictivas, peligrosas o de difícil acceso, posibilidad de capturar información en zonas que representan un riesgo para el periodista, como una zona de guerra, un atentado terrorista, un desastre natural o un accidente, etc.
- Espacios o perspectivas difíciles de alcanzar con otro medio: reporte de tráfico en una vialidad.
- Documental, reportaje o nota periodística de algún sitio histórico, cultural, natural o evento de cualquier tipo, que emplea los drones o sus productos (modelo 3D, imágenes, vídeo, etc.) puede verse beneficiado, ya que la información que se genera funciona bien como publicidad y promoción audiovisual.

7. CONCLUSIONES DE LA EXPERIENCIA LABORAL

La experiencia laboral adquirida en cuatro años de trabajo en el LUD, se ha reflejado en mi formación profesional y personal, al obtener y reforzar habilidades y aptitudes para hacer frente a las actividades que se desarrollan en el laboratorio.

En la actividad de docencia, desde el punto de vista personal me enfrenté a la parte más complicada del trabajo en el LUD, debido a que se me dificultaba hablar en público, no tenía experiencia en el tema ya que es algo que recientemente conocía y no llamaba mi atención, afortunadamente conté con el impulso y apoyo del Dr. Luis Miguel y el Ing. Iván Ayala. En esta actividad docente, me responsabilice por crear contenido teórico y práctico adecuado para cada clase, y por liderar la clase con los alumnos e instructores de vuelo.

En las actividades de apoyo a la investigación colaboré en múltiples proyectos, al planear y ejecutar vuelos para posteriormente procesar imágenes y generar información base,

por ejemplo, una ortofoto. Esto permitió mejorar mi habilidad de vuelo ya que los diferentes entornos generaban condiciones de vuelo propios al lugar, mientras que, en gabinete, enfrenté situaciones relacionadas con la gran cantidad de datos a almacenar, respaldar y procesar, lo que requirió de inventariar y organizar meticulosamente la información. Y para lograr esto conté con el respaldo y apoyo del Dr. Luis Miguel, el M. en G. Nicolas Vargas, el Lic. Cesar Benjamín y el Ing. Armando Bautista.

La participación en eventos de divulgación implica entre otras cosas la comunicación con los asistentes. Personalmente esta actividad logró un desenvolvimiento para hablar ante grupos de personas, porque la manera de dirigirse a niños no es la misma que para adolescentes, sobre todo si se busca la atención en un tema particular que no es de interés para todo el público. Por otro lado, cabe resaltar que a pesar de que son eventos organizados por la universidad, en el CIGA por la Mtra. Estela Carmona, también se requiere de una organización en el stand que como laboratorio representamos, por ejemplo, organizar a las personas que estarán en el stand, preparar material audiovisual y actividad a presentar. Todo esto de alguna manera me ayudó a organizar bien el tiempo, porque estos eventos se realizan de forma continua durante el año, y, además, organizar a las personas que estaban en el LUD porque en ocasiones nos tocó realizar diferentes actividades de forma simultánea.

Dentro de las actividades que se llevan a cabo en el laboratorio, he participado en la mayoría, algunas indicadas por el Dr. Luis Miguel y otras propuestas por mí, principalmente lo que se refiere a las actividades diarias de capacitación que realizan los becarios. Asimismo, me he involucrado en temas logísticos del laboratorio como el resguardo, inventario, préstamo y mantenimiento de equipos, registrar drones de acuerdo a la normativa mexicana, entre otras cosas que he logrado con el apoyo de la Mtra. Verónica Zarza, la Lic. Lourdes Calderón, el Lic. Luis Espino y el grupo de becarios generación 2019-2020.

8. BIBLIOGRAFÍA

- AERONES. (2017). Aeronas Firefighting Drone. 30/10/2020, de AERONES Sitio web: <https://youtu.be/qaYwwEhIGBE>
- Aicardi, I., Nyapwere, N., Nex, F., Gerke, M., Lingua, A.M. y Koeva, M.N. (2016). Co-Registration of Multitemporal UAV Image Datasets for Monitoring Applications: A New Approach. International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- Alcántara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47(2-4), 107-124.
- AltiGator. (2020). Drones for search and rescue missions. 31/10/2020, de AltiGator Unmanned Solutions Sitio web: <https://altigator.com/drones-for-search-rescue-missions/>
- AMACUZAC. (2020) La primera escuela de aviación especializada en drones en México. <http://amacuzac.com.mx/> (Consultado el 11/24/2020).
- Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146.
- Andrade-Argueta, J.C, Coba-Pérez P.C. y Morales-Manilla, L.M. (2017). Determinación de la magnitud de los desplazamientos durante el deslizamiento ocurrido en Santiago Mitlatongo y Santa Cruz Mitlatongo, Oaxaca. *Cartel en RAUGM (Reunión Anual Unión Geofísica Mexicana), Puerto Vallarta, Jalisco, México (23-27 octubre)*.
- Apellix. (2016). Proof of Concept of the Apellix Spray Painting Drone. 30/10/2020, de Apellix Sitio web: <https://youtu.be/kjRPooS2XB0>
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote sensing*, 7(4), 4026-4047.
- Cárdenas-Nielsen, A. (2020). Nuevas Geografías de la Exclusión Social en el Periurbano de Ciudades Mexicanas. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental CIGA, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Morelia Michoacán: Tesis de doctorado inédita.
- Castañeda-Bastida, O.F. (2019). Análisis jurídico del uso de drones. Facultad de Derecho, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México: Tesis de Maestría.
- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. España: Rialp.
- Coleman, J. (2019). Este dron lucha contra los incendios y puede transportar a una persona. 1/11/2020, de AERONES Sitio web: <https://www.redbull.com/co-es/aerones-dron-incendios>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2019. Sistema de Alerta de Incendios (Base de Datos). Sitio web: <http://incendios.conabio.gob.mx/>
- CROEM (Confederación Regional de Organizaciones Empresariales de Murcia). (2018). Uso de drones aplicado a la prevención de riesgos laborales. Murcia.
- Cuerno-Rejado, C., García-Hernández, L., Sánchez-Carmona, A., Carrio-Fernández, A., Sánchez-López, J., Campoy-Cervera, P. (2016). *Evolución histórica de los vehículos aéreos sin vigilancia hasta el presente*. *Dyna*, 91 (3). 282-288. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7781>

- Dávila, H. (2019). AFAC: Momento histórico para la aviación mexicana. 29/10/2020, de América Vuela Sitio web: <https://www.vuela.com.mx/am/articulos/7834-afac-momento-historico-para-la-aviacion-mexicana.html>
- DRONE.ACADEMY (2020). Certificación - Licencia Piloto RPAS AFAC. Formación Integral <https://drone.academy/curso/certificacion-licencia-piloto-rpas-afac-formacion-integral> (Consultado el 11/24/2020).
- Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry. Institut für Geodesie und Photogrammetrie. ETH-Zürich. Zürich, Switzerland. Zurich: Tesis de Doctorado.
- Eisenbeiss, H., Lambers, K. Sauerbier, M. y Zhang, L. (2005). Photogrammetric Documentation of an Archaeological Site (Palpa, Peru) Using an Autonomous Model Helicopter, *Int. Arch. Photogram. Remote Sensing Spatial Info. Sci.*, 34, 238-246.
- Estrada, G.L. (2018). Uso de Drones: Retos y Oportunidades. NOTA-INCyTU, Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión, 16,1-6.
- Fernández-Lozano, J. y Gutiérrez-Alonso, G. (2016). Aplicaciones Geológicas de los Drones. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29, 89-105.
- Fernández-Lozano, J., González-Díez, A., Gutiérrez-Alonso, G., Carrasco, R., Pedraza, J., García-Talegón, J. y Morellón, M. (2018). New Perspectives for UAV-Based Modelling the Roman Gold Mining Infrastructure in NW Spain. *Minerals*, 8(11), 518.
- Gallardo-Camacho, J. y Lavín, E. (2016). Uso de Drones con fines Informativos en Empresas de Televisión en España. *El Profesional de la Información*, 25(2), 217-225.
- Ghlargh. (2016). How many quadcopters does it take to screw in a lightbulb?. 31/10/2020, de Marek Baczynski Sitio web: <https://youtu.be/VrxNehQeUgQ>
- Gobierno de España. (2018). Plan estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021. 28/10/2020, de Ministerio de Fomento Sitio web: <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/7B974E30-2BD2-46E5-BEE5-26E00851A455/148411/PlanEstrategicoDrones.pdf>
- Gómez-Castillo, G. 2020. Análisis del riesgo por procesos de remoción en masa en ambientes volcánicos: El Estribo, Pátzcuaro, Michoacán, México. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental CIGA, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Morelia Michoacán: Tesis de doctorado.
- Grenzdörffer, G., Engelb, A. y Teichert, B. (2008). The Photogrammetric Potential of Low-Cost UAVs in Forestry and Agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31(B3), 1207-1214.
- Hackney, C., y Clayton, A. (2015). Unmanned Aerial Vehicles (Uavs) and Their Application in Geomorphic Mapping. *Geomorphological Techniques. British Society for Geomorphology*.
- Hardin, P.J. y Jensen, R.R. (2011). Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles in Environmental Remote Sensing: Challenges and Opportunities. *GIScience & Remote Sensing*, 48, 99-111.
- Hemant, S., Suraj, C.S., Roshan, A., Ramesh, G., Sajeer, A. y Prasobh, N. (2013). Design of a High Altitude Fixed Wing Mini UAV–Aerodynamic Challenges. En: *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Unmanned Systems ICIUS2013: 25-27 September 2013*. Jaipur, India.
- Jiménez-López, J. y Mulero-Pázmány, M. (2019). Drones for Conservation in Protected Areas: *Present and Future. Drones*, 3(1), 10.

- Jonard, M. (2018). Cortometraje: Ceder. 25/10/2020, de Vimeo Sitio web: <https://vimeo.com/286812704?fbclid=IwAR0ghcjwMWsOZ7U-VxhlYvNmFToRgJ35upCaZw8m5xBr3iBuWccNRo4NJK4>
- Koeva, M., Muneza, M., Gevaert, C., Gerke, M. y Nex F. (2016). Using UAVs for Map Creation and Updating. A Case Study in Rwanda. *Survey Review*, 50(361), 312-325.
- La Torre, M. (2011). Historia del aeromodelismo. 30/10/2020, de Aeromodelismo Sitio web: <http://aeromodelismodavycollege.blogspot.com/2011/10/historia-del-aeromodelismo.html>
- Laboratorio SIG y PR Umar. (2019). Drones una herramienta tecnología para la formación académica. 20/10/2020, de YouTube: SIGALT SIG Sitio web: https://youtu.be/Docd_mhnPQk
- Laboratorio SIG y PR Umar. (2020). Platicas de Encerrados; Drones, clases y pandemia. 20/10/2020, de YouTube: SIGALT SIG Sitio web: https://youtu.be/DqE2F_Dhqsw
- Laliberte, A.S., Goforth, M.A., Steele, C.M. y Rango, A. (2011). Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments. *Remote Sensing*, 3(11), 2529-2551.
- Lerma-García, J.L., Cabrelles-López, M., Seguí-Gil, A.E. y Navarro-Tarín, S. (2011). Aplicación de la Fotogrametría Terrestre al Levantamiento de Alzados de Edificios Singulares. *Revista Electrónica de Patrimonio Histórico*, 19(77), 127-129.
- Lerma-García, J.L., Portalés, C., Cabrelles, M., Navarro, S. y Galcerá, S. (2005). Aplicaciones de la Fotogrametría Multiespectral al Patrimonio. En: Innovaciones en las tecnologías de la información aplicadas a la conservación del patrimonio (110-120). Grupo de Investigación de Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). Universidad Politécnica de Valencia.
- López, M. (2015). ¿Los Drones son aeromodelos?. 30/10/2020, de Sepín Responsabilidad Civil y Seguro Sitio web: <https://blog.sepin.es/2015/05/los-drones-son-aeromodelos/>
- Luís-Pádua, Jakub-Vanko, Jonáš-Hruška, Telmo-Adão, Joaquim J. Sousa, Emanuel Peres y Raul Morais. (2017). UAS, Sensors, and Data Processing in Agroforestry: A Review Towards Practical Applications. *International Journal of Remote Sensing*, 38:8- 10, 2349-2391, DOI: 10.1080/01431161.2017.1297548
- Mandujano, S., Mulero-Pázmány, M., y Rísquez-Valdepeña, A. (2017). Drones: Una nueva Tecnología para el Estudio y Monitoreo de Fauna y Hábitats. *Agroproductividad*, 10(10), 79-84.
- Mármol, H. (2017). ResCue: el proyecto argentino para salvar vidas. 30/10/2020, de Clarín Sitio web: https://www.clarin.com/tecnologia/rescue-proyecto-argentino-salvar-vidas-competira-100-mil-dolares_0_BJlueXQb-.html
- Martins, A.S. (2008). Instrumentação e Controle de Atitude para Helimodelo Montado em uma Plataforma de Testes. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília. Brasil: Tesis de fin de grado.
- McLaren, E. (2019). El primer bombardeo aéreo de la historia: Austria bombardea Venecia en 1849. 31/10/2020, de FDRA - Fuerza Aérea Sitio web: <http://fdra-aereo.blogspot.com/2019/06/el-primer-bombardeo-aereo-de-la.html>
- Meier, P. (2015). Digital Humanitarians How Big Data Is Changing the Face of Humanitarian Response. New York: Politics & International Relations. DOI: <https://doi.org/10.1201/b18023>
- Mogili, U.R. y Deepak, B.B. (2018). Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502-509.

- Morales-Manilla, L.M. (2017). Propuesta de creación: Laboratorio Universitario de Drones. Manuscrito no Publicado, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México.
- Morales-Salas, R.E. (2018). La planeación de la enseñanza-aprendizaje, competencia que fortalece el perfil docente. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 8(16), 311-334.
- Mora-Tebas, J.A. (2018). Drones: ¿La Clave para el Desarrollo y la Seguridad en África?. IEEE.ES (Instituto Español de Estudios Estratégicos, Documento Análisis, 33.
- Mozas-Calvache, A.T. y Pérez-García, J.L. (2017). Analysis and Comparison of Lines Obtained from GNSS and UAV for Large-Scale Maps. *Journal of Surveying Engineering*, 143(3), 04016028.
- Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J. y Joswig, M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 128, 2-11.
- Ortega, D.V., Bueno, J.A.G.C., Merino, R.V., Sanz, S.B., Correas, A.H. y Campo, D.R. (2016). Piloto de dron (RPAS). España: Paraninfo.
- Pajares, G. (2015). Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(4), 281-330.
- Peláez-López, D.G. (2020). Tecnología e implementación de drones (Agras mg-1p) para la agricultura en los municipios: Hecelchakán, Hopelchén, Champotón y Escárcega; en el Estado de Campeche. Escuela Nacional de Estudios Superiores ENES, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Morelia Michoacán: Tesis de licenciatura inédita.
- Peña-Guillén, K.A. 2016. Monitoreo del deslizamiento del Cerro de la Cruz, por medio de sistemas microelectromecánicos en la Ciudad de Tlapa de Comonfort, Guerrero, México. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental CIGA, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Morelia Michoacán: Tesis de maestría.
- Pérez, R. (2018). ¿Te interesa volar un dron en Cuba? Tienes que leer esto. 30/10/2020, de CIBERCUBA Sitio web: <https://www.cibercuba.com/noticias/2018-08-07-u73624-e73624-s27061-te-interesa-volar-dron-cuba-tienes-leer>
- Pinzón-Rojas, J.D. (2017). Drones en las Geociencias. Guía de Implementación en la Cartografía. Universidad de Cundinamarca Facultad de Ciencias Agropecuarias Tecnología en Cartografía Fusagasugá Cundinamarca: Tesis de fin de grado.
- Poser, J. (2012). Comparative Imagery Analysis of Non-Metric Cameras from Unmanned Aerial Survey Aircraft. *Papers in Resource Analysis*, 14.
- Prudkin, G. (2019). Drones: su origen y aplicación en el periodismo contemporáneo para generación de contenidos en 3D. *Drones e ciência*, 9.
- Puerto, K. (2015). DJI, la empresa líder en drones es china y no copia a nadie. 28/10/2020, de XAKATA Sitio web: <https://www.xataka.com/drones/dji-la-empresa-lider-en-drones-es-china-y-no-copia-a-nadie>
- Radjawali, I. y Pye, O. (2015). Counter-Mapping Land Grabs With Community Drones in Indonesia. En: *Paper Presented at The Land Grabbing, Conflict and Agrarian-Environmental Transformations: Perspectives from East and Southeast Asia, Chiang Mai, Thailand*, 5-6 junio 2015.
- Raoult, V., Tosetto, L., y Williamson, J. (2018). Drone-Based High-Resolution Tracking of Aquatic Vertebrates. *Drones*, 2(4), 37.

- Ren, D.D., Tripathi, S. y Li, L.K. (2017). Low-Cost Multispectral Imaging for Remote Sensing of Lettuce Health. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(1), 016006.
- Rinaudo, F., Chiabrando, F., Lingua, A. y Spanò, A. (2012). Archaeological Site Monitoring: UAV Photogrammetry can be an Answer. En: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. (Politecnico di Torino, Ed.), XXII ISPRS Congress, 25 August - 01 september 2012 (pp. 583-588). Australia.
- Rokhmana, C.A. (2015). The Potential of UAV-Based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 245-253.
- Ruiz J.M.A. (2018). La utilización de drones en la construcción. *Revista Mexicana de la Construcción*, 653, 62-65.
- Sacristán, L. (2019). Drone Hopper, pensado para apagar fuegos. 29/10/11, de Drone Hopper Sitio web: <http://www.revista-gadget.es/reportaje/drone-hopper-incendios/>
- Salas, P.R. (2017). Regulación de drones: Una Perspectiva desde el Análisis de Políticas Públicas. Facultad de Ciencias Jurídicas, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá: Trabajo de Fin de Grado.
- Samad, A.M., Kamarulzaman, N., Hamdani, M.A., Mastor, T.A., y Hashim, K.A. (2013, August). The potential of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for civilian and mapping application. In *2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology* (pp. 313-318). IEEE.
- Saura, S.R. y González, C.A. (2015). Aplicaciones al periodismo. En: *Aplicaciones al Periodismo*, 16. En Comunidad de Madrid, Los Drones y sus Aplicaciones a la Ingeniería Civil (191-197). Madrid: Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.
- Sauzo-Cruz, G., Coba-Pérez P.C. y Morales-Manilla, L.M. (2017). El uso de vehículo aéreo no tripulado para la identificación de estructuras geológicas, potenciales a producir deslizamientos a largo plazo, en una vía de acceso a San Juan Teposcolula, Oaxaca. *Cartel en RAUGM (Reunión Anual Unión Geofísica Mexicana)*, Puerto Vallarta, Jalisco, México (23-27 octubre).
- SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes). (2019). NORMA Oficial Mexicana NOM-107-SCT3-2019, Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano. 25/10/2020, de Diario Oficial Sitio web: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAC-archivo/modulo2/nom-107-sct3-2019-201119.pdf>
- Shaw, I.G. (2014). The rise of the predator empire: tracing the history of US Drones. *Understanding Empire*.
- SKY SERVICE COLOMBIA. (2015). Arreando vacas ganado, Colombia. Dji Phantom 3 (drone). 25/10/2020, de SKY SERVICE COLOMBIA Sitio web: <https://youtu.be/L8v2iHTeNt0>
- Smith, M.J., Chandler, J., y Rose, J. (2009). High spatial resolution data acquisition for the geosciences: kite aerial photography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(1), 155-161.
- TechCrunch. (2016). Zipline drones airdrop medical supplies to African villages. 29/10/2020, de TechCrunch Sitio web: <https://youtu.be/3AZF1TTDdEM>
- Terrasat. (2020). Servicios. 29/10/2020, de errasat Cartografía SA de CV Sitio web: <https://www.terrasat.com.mx/servicios/>

- UNICEF (United Nations Children's Fund). (2017). Humanitarian drone corridor launched in Malawi. 25/10/2020, de UNICEF Stories Sitio web: <https://www.unicef.org/stories/humanitarian-drone-corridor-launched-malawi>
- University of Florida. (2016). University of Florida brain-drone race. 29/10/2020, de University of Florida Sitio web: <https://youtu.be/C0s3w-wqcI8>
- University of Nebraska–Lincoln. (2015). Controlled Burn by UAV. 25/10/2020, de University of Nebraska–Lincoln Sitio web: <https://youtu.be/GYJF-k8enz0>
- UVS INTERNATIONAL. (2015). Federating the Remotely Piloted Systems Community. 25/10/2020, de UVS INTERNATIONAL Sitio web: <https://uvs-international.org/>
- Valavanis, K.P., y Vachtsevanos, G.J. (Eds.). (2015). *Handbook of unmanned aerial vehicles* (Vol. 1). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Vargas-Ramírez, N. (2018). Evaluación del potencial de uso de pequeños vehículos aéreos no tripulados para el monitoreo ambiental y la defensa territorial indígena en México. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental CIGA, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Morelia Michoacán: Tesis de doctorado.
- Waite, M., y Kreimer, B. (2016). Drone Journalism Lab Operations Manual. 29/10/2020, de University of Nebraska - Lincoln Sitio web: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1097&context=journalismfacpub>
- Watts, A.C., Ambrosia, V.G., y Hinkley, E.A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4(6), 1671-1692.
- Whitehead, K., Hugenholtz, C.H., Myshak, S., Brown, O., LeClair, A., Tamminga, A. y Eaton, B. (2014). Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: Scientific and commercial applications. *Journal of unmanned vehicle systems*, 2(3), 86-102.
- Wich, S.A., y Koh, L.P. (2018). *Conservation drones: mapping and monitoring biodiversity*. Oxford University Press.
- Wilkinson, J. (2013). Animalizing the apparatus: Pigeons, drones and the aerialview. *Shift*, 6, 1-21.
- Zhang, C., y Kovacs, J.M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision agriculture*, 13(6), 693-712.

ANEXO 1. Introducción a la tecnología de los drones (parte I): Origen, ventajas, desventajas de la tecnología y tipos de drones Contenido temático del curso: Tema 1. Las presentaciones que se abordan en cada tema se encuentran en

<https://www.dropbox.com/sh/7y2v0i6e5wwbacr/AABNWPJECj2VATyHHO57Q3Nha?dl=0>

UNIDAD I: Introducción y aprendiendo a volar		
El objetivo de esta unidad es enseñar al alumno a operar de manera segura un dron con un trasfondo en contenido teórico para volar el dron.		
Tema 1		
<i>Introducción a la tecnología de los drones (parte I): Origen, ventajas, desventajas de la tecnología y tipos de drones</i>		
Actividad:	Presentación del curso y plática introductoria por parte de los profesores.	Duración 3 h
Teoría		
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Presentar el objetivo del curso, a los profesores, instructores de vuelo y alumnos, así como la dinámica del curso, contenidos y criterios de evaluación. • Dar a conocer que es un dron, su origen, las ventajas y desventajas de la tecnología, así como de la variedad y características de los drones aéreos. 	
Contenido principal		
Presentación del curso	Profesores e instructores de vuelo Objetivo y contenido del curso Criterios de evaluación y recomendaciones para la práctica Equipo e instalaciones	
Introducción	¿Qué es un dron? Breve historia del origen de los drones Ventajas y desventajas Variedad de drones aéreos y sus características: dirigibles, ala fija y rotatoria	
Recursos didácticos y tecnológicos: Material audiovisual referente al tema y equipo de drones y accesorios con los que cuenta el LUD.		
Bibliografía recomendada		
Eisenbeiss, H. (2009). <i>UAV Photogrammetry</i> . (Tesis de Doctorado, Institut für Geodesie und Photogrammetrie). ETH-Zürich. Zürich, Switzerland. Zurich. Hackney, C., y Clayton, A. (2015). <i>Unmanned Aerial Vehicles (Uavs) and Their Application in Geomorphic Mapping</i> . <i>Geomorphological Techniques</i> . British Society for Geomorphology. Watts, A.C., Ambrosia, V.G., y Hinkley, E.A. (2012). <i>Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use</i> . <i>Remote Sensing</i> , 4(6), 1671-1692.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • Al ser la primera clase del semestre, algunos alumnos se incorporan una o dos clases después, y para poner al corriente al alumno que recién se incorpora, se hace una dinámica a manera de que los mismos alumnos que tomaron la clase hablen del tema destacando los puntos más sobresalientes a manera de repaso del tema. • En esta primera sesión se lleva a la clase el equipo de drones con el que se cuenta, a manera de que el alumno vea físicamente la variedad de drones de acuerdo con sus formas y material de fabricación. 	

ANEXO 2. Introducción a la tecnología de los drones (parte II): Aplicaciones civiles de los drones y componentes de los multicopteros
Contenido temático del curso: Tema 2.

Tema 2		
<i>Introducción a la tecnología de los drones (parte II): Aplicaciones civiles de los drones y componentes de los multicopteros.</i>		
Actividad: Plática de las aplicaciones de los drones en el mundo civil, y de los componentes de un multicoptero.	Duración 2.5 h	Teoría
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Presentar la gran variedad de aplicaciones civiles en las que se están empleando los drones. • Dar a conocer los principales componentes que integran un multicoptero. 	
Contenido principal		
Aplicaciones y componentes de los multicopteros	<ul style="list-style-type: none"> Apoyo humanitario Investigación Comerciales Recreativas Frame Grupo motopropulsor Controlador electrónico de velocidad Placa controladora de vuelo Módulo de telemetría Gimbal Batería Sensores Estación de control en tierra 	
Recursos didácticos y tecnológicos: Material audiovisual referente al tema, equipo de drones (piezas, drones desarmados), y hoja de actividad para reforzar la información del tema.		
Bibliografía recomendada		
<p>Hardin, P.J. y Jensen, R.R. (2011). Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles in Environmental Remote Sensing: Challenges and Opportunities. <i>GIScience & Remote Sensing</i>, 48, 99-111.</p> <p>Samad, M., Kamarulzaman, N., Hamdani, M.A., Mastor, T.A. y Hashim K.A. (2013). The Potential of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) For Civilian and Mapping Application. En <i>2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology</i>, Shah Alam, Malasia.</p>		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • En ocasiones estos temas toman más del tiempo que en teoría se destinará dado que surgen muchas inquietudes con el tema de las aplicaciones, ya que también se habla de la experiencia propia, por lo que se van haciendo ajustes de tiempo en la siguiente sesión. • En esta clase, el tema de los componentes no se aborda a profundidad, ya que la finalidad es que el alumno se familiarice con los nombres y funciones de los componentes. 	

ANEXO 3. Conociendo el equipo de vuelo. Contenido temático del curso: Tema 3.

Tema 3 <i>Conociendo el equipo de vuelo</i>		
Actividad: Dar a conocer el equipo de drones que se usaran en las prácticas de vuelo.	Duración 1.5 h	Práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Dar a conocer las características de vuelo de cada uno de los drones que se va a emplear (peso, velocidad, distancia, etc.). • Que el alumno identifique cada uno de los componentes del dron y su función (botones para tomar fotografías, vídeo, etc.). • Dar a conocer los cuidados y el mantenimiento que se le da al equipo. 	
Contenido principal		
Dron	Características operativas de cada equipo Control remoto Aeronave Batería Accesorios	
Recursos didácticos y tecnológicos: Material audiovisual referente al tema y equipo de drones y accesorios, y hoja de actividad para reforzar la información del tema.		
Bibliografía recomendada: Manual de usuario de equipo de drones que se emplee en el curso.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • Esta es una clase práctica, sin embargo, se recomienda trabajar en un salón y que los alumnos se agrupen en equipos para que se les pueda asignar un dron o drones y todos tengan acceso al equipo durante la explicación. • Esta clase es para conocer el equipo, por lo que no se abordan detalladamente aspectos como encendido, calibración, esto se hará más adelante. • En el curso se han empleado drones de la marca DJI de diferentes modelos (Mavic pro, Mavic 2 pro, Phantom 1,2,3 y 4 pro), y esta clase aborda los componentes de los equipos de los que se valla a disponer y se hace un intento por mostrar al alumno que los equipos operan igual salvo algunas diferencias. Esto es importante ya que durante las prácticas de vuelo los alumnos podrán operar indistintamente cualquiera de estos equipos. 	

ANEXO 4. Ensamble y preparación de equipo de vuelo. Contenido temático del curso: Tema 4.

Clase 4		
Tema: Ensamble y preparación de equipo de vuelo		
Actividad: Preparar o ensamblar el dron para el vuelo.	Duración 3 h	Práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Enseñar al alumno a ensamblar o preparar el equipo de manera que realice una inspección detallada de cada componente antes de cada vuelo. 	
Contenido principal		
Ensamble	Control remoto Dispositivo móvil Aplicación para monitoreo de vuelo (sólo cargar imagen de satélite) Aeronave (inicialización de cámara) Encendido y apagado (si hélices) Calibración DJI GO 4 Guardar equipo	
Recursos didácticos y tecnológicos: Material audiovisual referente al tema y equipo de drones y accesorios, y hoja de actividad para reforzar la información del tema.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • Esta clase funciona bien cuando un instructor está al frente dando indicaciones al realizar paso a paso el ensamble, y los alumnos están agrupados por equipo apoyados por un instructor para seguir las indicaciones. • De esta clase, se considera 1 h 30 min, para hacer el ensamble del dron mientras los alumnos reciben la instrucción del profesor, para posteriormente trabajarlo por su cuenta asistido por un instructor y practicando en equipos e individualmente, por lo que la cantidad de alumnos influirá en la duración de la actividad. • Anteriormente esta clase se realizaba con un instructor al frente, realizando la actividad del ensamble y dando indicaciones, y la clase era seguida por los alumnos, los cuales formaban equipos y un instructor los asistía, sin embargo, si bien todos terminaban la actividad al mismo tiempo, se notó que esto no era lo más adecuado ya que algunos alumnos realizan la actividad con mayor facilidad o dificultad que otros y eso va provocando que el tiempo de esta sesión se prolongue. • Se recomienda que el alumno tome notas a manera de realizar una lista de verificación “Check List” de vuelo que le sirva de guía durante y posterior al curso. • En la parte que corresponde a la aplicación DJI GO 4, se aborda de forma muy elemental ya que hay cosas que el alumno verá durante la práctica de vuelo y simulador y le generará dudas. • Esta clase requiere una evaluación individual y de ser posible con cada equipo de dron que se esté usando, toma tiempo, pero es necesario dedicarle el espacio para corregir malas prácticas. • Para reforzar esta actividad, se recomienda que, en cada práctica de vuelo, al momento de preparar el equipo el alumno de una explicación de la acción que va haciendo, como si el alumno estuviera enseñando al instructor. 	

ANEXO 5. Simulador de vuelo. Contenido temático del curso: Tema 5.

Tema 5 <i>Simulador de vuelo</i>		
Actividad: Práctica de vuelo en simulador (maniobras básicas y avanzadas).	Duración 6 h	Práctica
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Adquirir habilidad para ejecutar las maniobras de vuelo en el simulador, dichas maniobras irán incrementando su nivel conforme avance el curso. 	
Contenido principal		
Simulador y maniobras de vuelo	Características del simulador de vuelo Interfaz (escenarios, configuraciones) Encendido y apagado de motores Despegue y aterrizaje Desplazamiento vertical, horizontal y giro Movimientos en línea recta y angulares combinando funciones de los joysticks Figuras de vuelo (trayectoria, precisión) Modos de vuelo y RTH Aterrizaje de precisión y de emergencia Monitoreo de parámetros de vuelo Líneas de vuelo, velocidad y altura constante Navegación entre obstáculos Misiones específicas (punto de interés, diferencias de altura, etc.)	
Recursos didácticos y tecnológicos: Simulador de vuelo (Fly Simulator, DJI), versión gratuita, equipo de cómputo y control remoto del dron.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> Este simulador permite practicar en diferentes escenarios y con los modelos de drones que el alumno usará en la realidad. Los gráficos del simulador y las condiciones que se pueden ajustar para el vuelo (interferencia, viento, etc.), permiten que el vuelo sea muy parecido a la realidad, sobre todo si se compara con otros simuladores, esto permite que la práctica en el simulador no sea aburrida, pues se pueden realizar muchos ejercicios diferentes. No hay un límite de baterías para volar, por lo que el alumno puede practicar indefinidamente y sin supervisión constante. Las horas prácticas de vuelo en el simulador permiten que el alumno comience a adquirir habilidad para operar el dron, pues se emplea el control remoto del dron para practicar. Un solo instructor puede trabajar con varios alumnos al mismo tiempo ya que no se corre el riesgo de una colisión, además de que al tener a varios alumnos practicando en el simulador, un solo instructor puede ir corrigiendo a cada alumno la forma en que se realiza el ejercicio. En caso de no contar con equipo suficiente (computadoras y control remoto) para todos los alumnos, el grupo se divide a manera de que se turnen para practicar ya sea que se sienten dos personas por computadora, o bien, primero pase un grupo de alumnos y finalizando pase el resto. Al ser un tema que irá aumentando gradualmente de dificultad, se recomienda que se haga uso del simulador de vuelo en varias sesiones y así incorporar nuevas actividades. 	

ANEXO 6. Maniobras básicas de vuelo. Contenido temático del curso: Tema 6.

Tema 6 <i>Maniobras básicas de vuelo</i>		
Actividad: Adquirir y mejorar la habilidad para ejecutar las maniobras de vuelo que él alumno práctico en el simulador, dichas maniobras irán incrementando su nivel conforme avance el curso.	Duración 7 h	Práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Qué el alumno ejecute sus primeras prácticas de vuelo con guía del instructor. • Qué el alumno adquiera la habilidad y mejore su práctica de vuelo conforme avanza el curso. 	
Contenido principal		
Maniobras básicas de vuelo	Ensamble y guardar equipo Encendido y apagado de motores Despegue y aterrizaje Seguridad en el vuelo Desplazamiento vertical, horizontal y giro Movimientos en línea recta y angulares combinando funciones de los joysticks Figuras de vuelo (trayectoria, precisión) Modos de vuelo y RTH (Return To Home)	
Recursos didácticos y tecnológicos: Drones, accesorios, y bitácora con algunos ejercicios para reforzar el tema.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • Es necesario generar un ambiente de confianza que pueda ser transmitido al alumno para ejecutar vuelos seguros, por lo que el instructor deberá ser tolerante y paciente pues es frecuente que a pesar de varias horas de vuelo el alumno siga cometiendo errores de principiante. • Se recomienda que se lleve un registro del avance del alumno, esto va desde tiempos de ensamble, hasta la serie de pasos que realiza u omite. Esto también ayuda porque el alumno después de unas sesiones tiende a bajar el ritmo de trabajo y en ocasiones el nivel de compromiso. • Se recomienda que antes de empezar cualquier actividad práctica, el profesor manifieste ante todo el grupo la actividad que se va a realizar y lo que se espera que se logró en esa sesión. • El instructor siempre debe estar con el alumno que vuela el dron, pero conforme avanza el curso la participación del instructor debe irse modificando y pasar de corregir y explicar el porqué, a realizar cuestionamientos que pongan en manifiesto el conocimiento del alumno. • En la mayoría de las actividades se pueden volar todos los drones al mismo tiempo y en el mismo espacio, pero habrá que coordinarse con los instructores para trabajar a distintas alturas y así evitar accidentes. • De acuerdo con la cantidad de alumnos y de baterías disponibles, será la duración de las prácticas de vuelo por clase y por alumno. Lo ampliamente recomendado es que se trabaje con un alumno por instructor durante estas primeras prácticas. 	

ANEXO 7. Evaluación teórica y práctica de vuelo. Contenido temático del curso: Tema 7.

Tema 7 <i>Evaluación teórica y práctica de vuelo</i>		
Actividad: Evaluación de la práctica de vuelo.	Duración 2 h	Práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none">Realizar una evaluación para cada alumno durante la ejecución de algunos ejercicios de vuelo.	
Contenido principal: Tema 3, 5 y 6.		
Recursos didácticos y tecnológicos: Drones, accesorios y bitácora de vuelo para hacer la evaluación.		
Notas	<ul style="list-style-type: none">Esta evaluación no es tanto para identificar las habilidades del alumno puesto esto se refleja en cada sesión de práctica de vuelo, es más para poder obtener una nota de que se aprobó la evaluación, y para dar inicio a otra parte de temas más complejos.Durante esta evaluación cada instructor tiene un tiempo definido para trabajar con cada alumno y poder evaluar sus habilidades observando como realiza determinada actividad o como responde a un cuestionamiento, y para ello el instructor recibe una hoja que le guían con el tipo de preguntas que debe realizar.	

ANEXO 8. Introducción a los subsistemas de funcionamiento de un dron: Subsistema eléctrico, de control, comunicación y carga. Contenido temático del curso: Tema 8.

Tema 8		
<i>Introducción a los subsistemas de funcionamiento de un dron: Subsistema eléctrico, de control, comunicación y carga.</i>		
Actividad:	Plática para dar a conocer cómo es que opera un multicoptero.	Duración 2.5 h
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • La finalidad de este tema es que el alumno comprenda como opera un dron y aprenda los conceptos técnicos, ya que en algunas ocasiones será posible que el alumno tenga una mejor idea como atender los avisos y alertas que da el dron ante una posible falla en el vuelo, en el sistema eléctrico, de control, de comunicación o de carga. 	
Contenido principal		
Funcionamiento de un multicoptero	Subsistema eléctrico Subsistema de comunicación Subsistema de carga Subsistema de control	
Recursos didácticos y tecnológicos: Material audiovisual referente al tema, algunas piezas sueltas de los drones, accesorios, drones de las prácticas de vuelo y drones de estructura abierta y algunas maquetas.		
Bibliografía recomendada		
Martins, A.S. (2008). Instrumentação e Controle de Atitude para Helimodelo Montado em uma Plataforma de Testes. (Tesis de Maestría, Departamento de Engenharia Elétrica). Universidade de Brasília. Brasil. Ortega, D.V., Bueno, J.A.G.C., Merino, R.V., Sanz, S.B., Correas, A.H. y Campo, D.R. (2016). <i>Piloto de dron (RPAS)</i> . Ediciones Paraninfo, SA. España.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • A manera de que el alumno siga la clase teórica, se le pide realizar alguna actividad que deba entregar al final de la clase. Esto ayuda bastante al alumno, ya que el curso se imparte a personas con diferentes perfiles. • Anteriormente esta clase tenía una duración más extensa para abarcar los cuatro subsistemas de funcionamiento un poco más detalladamente, sin embargo, se redujo el tiempo porque a pesar de que es un tema interesante, para el alumno es demasiada información de muchos campos en poco tiempo. Por lo que, se decidió dar un marco más general de cada subsistema, pero señalando los aspectos más importantes a tener en cuenta. Estos aspectos a tener en cuenta, son con los que en algún momento el alumno tendrá que lidiar. • El contenido de este tema, en algunos momentos de la clase resulta muy técnico, sin embargo, siempre se hace referencia a como aplica esto al equipo que se emplea. Además, se debe tomar en cuenta que ya se hizo un primer acercamiento con este tema cuando se habló de los componentes de un multicoptero (tema 2). • En cuanto a recursos didácticos, en ocasiones se tiene acceso a otro tipo de recursos como son maquetas (elaboradas por el Ing. Ernesto Iván Ayala Mariscal) y drones de estructura abierta, con los que el alumno puede identificar e incluso ensamblar componentes internos. 	

ANEXO 9. Maniobra de regreso a casa y modos de vuelo. Contenido temático del curso: Tema 9.

Tema 9 <i>Maniobra de regreso a casa y modos de vuelo</i>		
Actividad: Plática para explicar los diferentes modos de vuelo y el RTH.	Duración 1 h	Teoría
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Dar a conocer los diferentes modos de vuelo del dron, su comportamiento y los escenarios en los que se emplea cada uno. • Dar a conocer el funcionamiento del RTH y sus variantes. 	
Contenido principal		
Modos de vuelo y RTH	Características del modo S, A, T, P Escenarios de operación y combinación de modos de vuelo Funcionamiento y variantes del RTH	
Recursos didácticos y tecnológicos: Material audiovisual referente al tema, equipo de drones, accesorios, y hoja de actividades.		
Bibliografía recomendada: Manual de usuario de equipo de drones que se emplee en el curso.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de práctica de vuelo de este tema está inmerso en el tema 5 y 6. • se va combinando con otros ejercicios que van implicando mayor concentración y van realizándose en más de una sesión. • Pudiera parecer que este tema está fuera de secuencia, no obstante, no es así, porque contiene información que corresponde al tema anterior y al siguiente. 	

ANEXO 10. Aplicación de vuelo DJI GO 4. Contenido temático del curso: Tema 10.

Tema 10 <i>Aplicación de vuelo DJI GO 4</i>		
Actividad: Enseñar las funciones y opciones de configuración del dron en la aplicación DJI GO 4.	Duración 2 h	Práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Dar a conocer las funciones y opciones de configuración del dron a través de la aplicación DJI GO. • Señalar los parámetros más importantes a configurar antes de cada vuelo. 	
Contenido principal		
DJI GO 4	Interfaz y configuración del dron antes del vuelo Parámetros de monitoreo durante el vuelo Simulador de vuelo de DJI GO 4 Actualización de firmware y calibraciones	
Recursos didácticos y tecnológicos: Equipo de drones, accesorios, aplicación DJI GO 4 y algún dispositivo que permita proyectar en tiempo real aplicación del dron (cable HDMI, Apple TV, u otro).		
Bibliografía recomendada: Manual de usuario de equipo de drones que se emplee en el curso.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • Este tema retoma muchos conceptos técnicos que se abordaron en el tema 8, y específicamente la aplicación de vuelo DJI GO 4 es parte del contenido del subsistema de control, pero a fin de explicar otros aspectos que es importante entender antes de la configuración del equipo, se lleva a cabo esta secuencia. • Se recomienda que un profesor guíe la clase, mientras que los alumnos apoyados por los instructores de vuelo apoyen para dar seguimiento a la clase. • La aplicación de vuelo que se utiliza con estos equipos para ejecutar el vuelo y configurar el dron se va cambiando conforme hay actualizaciones o se hace uso de otros equipos de drones. 	

ANEXO 11. Maniobras avanzadas de vuelo. Contenido temático del curso: Tema 11.

Tema 11 <i>Maniobras avanzadas de vuelo</i>		
Actividad: Adquirir y mejorar la habilidad para ejecutar las maniobras de vuelo avanzadas.	Duración 7 h	Práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> Adquirir y mejorar la habilidad para ejecutar las maniobras de vuelo avanzadas. 	
Contenido principal		
Maniobras avanzadas de vuelo	Aterrizaje de precisión y de emergencia Configuración app DJI GO 4 Monitoreo de parámetros de vuelo Vuelo coordinado, vuelo de larga distancia, vuelo sin dispositivo móvil	
Recursos didácticos y tecnológicos: Dron, accesorios y bitácora con algunos ejercicios para reforzar el tema.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> Este es el punto en el que el alumno y en general el grupo, ya adquirió cierta habilidad para operar el dron, por tanto, este es el momento cuando se pueden incorporar ejercicios que requieren más concentración. Se recomienda que antes de empezar cualquier actividad práctica, el profesor manifieste ante todo el grupo la actividad que se va a realizar y lo que se espera que se logró en esa sesión, y la función de cada instructor es asistir al alumno durante el vuelo. El instructor siempre debe estar con el alumno que vuela el dron, pero conforme avanza el curso la participación del instructor debe irse modificando y pasar de corregir y explicar el porqué, a realizar cuestionamientos que pongan en manifiesto el conocimiento del alumno. De acuerdo con la cantidad de alumnos y de baterías disponibles, será la duración de las prácticas de vuelo por clase y por alumno, pero en estas prácticas ya se puede empezar a trabajar en equipos de forma coordinada de manera tal que hay un dron con dos alumnos y un instructor. 	

ANEXO 12. Evaluación teórica y práctica de vuelo. Contenido temático del curso: Tema 12.

Tema 12 <i>Evaluación teórica y práctica de vuelo</i>		
Actividad: Evaluación de la práctica de vuelo.	Duración 2 h	Práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> Realizar una evaluación para cada alumno durante la ejecución de algunos ejercicios de vuelo. 	
Contenido principal: Tema 8 a 11		
Recursos didácticos y tecnológicos: Drones, accesorios y bitácora de vuelo para hacer la evaluación.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> Esta evaluación no es tanto para identificar las habilidades del alumno puesto esto se refleja en cada sesión de práctica de vuelo, es más para poder obtener una nota de que se aprobó la evaluación, y para dar inicio a otro tema ya más aplicado al levantamiento de información. Durante esta evaluación cada instructor tiene un tiempo definido para trabajar con cada alumno y poder evaluar sus habilidades observando como realiza determinada actividad o como responde a un cuestionamiento, y para ello el instructor recibe una hoja que le guían con el tipo de preguntas que debe realizar. 	

ANEXO 13. Normativa que regula el uso de drones en México. Contenido temático del curso: Tema 13.

Tema 13 <i>Normativa que regula el uso de drones en México</i>		
Actividad: Plática para hablar de la regulación de vuelo de los drones.	Duración 2 h	Teoría
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Dar a conocer la normativa vigente para operar drones en el espacio aéreo mexicano y resaltar los aspectos clave para el tipo de drones que se emplean en el curso. 	
Contenido principal		
Regulación de vuelo de drones en México	<p>¿Por qué regular el uso de drones? Dependencia que regula el uso de drones CO AV-23/10 R4: clasificación, usos, documentos y autorizaciones, y limitaciones en términos altura, distancia, velocidad de vuelo, zonas de operación y responsabilidades del piloto.</p>	
Recursos didácticos y tecnológicos: Material audiovisual referente al tema.		
Bibliografía recomendada		
SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), 2020. http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/3-servicios/35-rpas-drones/		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • La información que se muestra en la clase se toma de los documentos oficiales y vigentes publicados en la página de la DGAC-SCT (Dirección General de Aeronáutica Civil, Secretaría de Comunicaciones y Transportes). • Es importante hacer mención al alumno que esta clase está enfocada principalmente a los requisitos y límites que se establecen para los drones que se emplean en el curso y que de ninguna manera pretende suplir a la normativa vigente, por lo que antes de un vuelo el alumno deberá revisar la normativa que esté vigente en ese momento. 	

ANEXO 14. Planeación y ejecución de vuelos fotogramétricos. Contenido temático del curso: Tema 14.

UNIDAD II: Planeación y ejecución de vuelos para levantamiento de información		
El objetivo de esta unidad es enseñar al alumno a planear y ejecutar vuelos para generar información.		
Tema 14		
<i>Planeación y ejecución de vuelos fotogramétricos</i>		
Actividad: Plática por parte de los profesores y ejercicios de planeación y ejecución de vuelos.	Duración 11.5 h	Teoría y práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Dar a conocer los aspectos a considerar para planear y ejecutar una misión de vuelo. • Enseñar a programar misión en aplicación para realizar vuelos manuales y automáticos. 	
Contenido principal		
Planeación de vuelos	Fotogrametría Características de vuelo manual y automático Variedad de aplicaciones para vuelo Tipos de misiones Parámetros comunes a configurar en las aplicaciones Planeación de misión con aplicación y sin aplicación Vuelos coordinados, toma de fotografías, vídeo	
Recursos didácticos y tecnológicos: Material audiovisual referente al tema y bitácora de ejercicios para realizar diferentes misiones.		
Bibliografía recomendada:		
Smith, M.J., Chandler, J., Rose, J. (2009). High spatial resolution data acquisition for the geosciences: kite aerial photography. <i>Earth Surf. Process. Landforms</i> 34:155-161.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • Las primeras prácticas de vuelo tienen una serie de pasos a seguir, no obstante, hay un momento en donde al alumno, solamente se le solicita un tipo de producto o misión a ejecutar bajo ciertas condiciones (poca batería, tomar pocas imágenes, pero cubrir una superficie grande, etc.). • Algunos ejercicios que se realizan en esta unidad implican el trabajo en conjunto de todos los alumnos de la clase, pues ellos ya conocen la forma en que trabajan y van coordinándose para cumplir con la actividad. • A pesar de que los alumnos ya cuentan con un par de horas de vuelo, siempre son acompañados por un instructor de vuelo. • Durante las prácticas de vuelo se realiza una evaluación constante del avance de cada alumno y de su forma de trabajar en equipo, por lo que generalmente no se realizan evaluaciones dado la cantidad de práctica que tienen ya en este punto. 	

ANEXO 15. Procesamiento de imágenes con software fotogramétrico. Contenido temático del curso:
Tema 15.

UNIDAD III: Procesamiento de información		
El objetivo de esta unidad es enseñar al alumno procesar la información que captura con el dron y generar información de alta resolución de elementos naturales del terreno y/o de las actividades humanas.		
Tema 15 <i>Procesamiento de imágenes con software fotogramétrico</i>		
Actividad:	Plática por parte de los profesores y procesamiento de información para generar productos.	Duración 9 h
		Teoría y práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Introducir al alumno en el procesamiento de las imágenes y las consideraciones que debe realizar en la toma de fotografías. • Dar a conocer el flujo de trabajo para procesar las imágenes. 	
Contenido principal		
Procesamiento de información con software fotogramétrico	Fotogrametría y productos fotogramétricos Consideraciones al momento de elegir el sensor Consideraciones al momento de la captura de fotografías Factores a tomar en cuenta que reducen o inducen el error en los productos fotogramétricos que tienen que ver con los puntos anteriores Características del software fotogramétrico e interfaz Flujo de trabajo para generar diferentes productos fotogramétricos Exportar y visualizar productos en un SIG	
Recursos didácticos y tecnológicos: Material audiovisual referente al tema, equipo de cómputo, software y un grupo de imágenes para trabajar.		
Bibliografía recomendada:		
Aicardi, I., Nyapwere, N., Nex, F., Gerke, M., Lingua, A.M. y Koeva, M.N. (2016). Co-Registration of Multitemporal UAV Image Datasets for Monitoring Applications: A New Approach. <i>International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences</i> , 41. Koeva, M., Muneza, M., Gevaert, C., Gerke, M. y Nex F. (2016). Using UAVs for Map Creation and Updating. A Case Study in Rwanda. <i>Survey Review</i> , 50(361), 312-325. Poser, J. (2012). Comparative Imagery Analysis of Non-Metric Cameras from Unmanned Aerial Survey Aircraft. <i>Papers in Resource Analysis</i> , 14.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • El flujo de trabajo que se aborda durante el curso considera el procesamiento de información de un número reducido de imágenes (50 o menos), y se trabaja con los parámetros que pueden producir más rápido los resultados, pero dependerá del equipo de cómputo. • Se recomienda tener a la mano una serie de ejercicios diferentes y ya realizados que se empleen para mostrar los resultados, en caso de no tener el tiempo suficiente. 	

**ANEXO 16. Ejemplo de uno de los itinerarios de la práctica de campo desarrollada en Oaxaca, México.
Tema 16.**

ITINERARIO PRACTICA DE CAMPO Oaxaca del 16 al 19 de mayo 2019

Jueves 16 de mayo de 2019

6:00 Salida de Morelia, desde el estacionamiento del CSAM, Campus Morelia, Traslado a Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.
11:30 Parada para almorzar en Puebla
15:00 - 16:00 Llegada a Santo Domingo Yanhuitlán Entrega de habitaciones en Hotel Tierra Sagrada.
16:00 Comida en Hotel Tierra Sagrada o Comedor Tindee.
17:00 Recorrido en San Pedro Añãe (zona minera) del Geoparque de la Mixteca Alta GPMA (Levantamiento aerofotográfico con Dron).
20:00 Regreso a Yanhuitlán, Cena en Comedor Tindee Pernocta en Hotel Tierra Sagrada, carga de baterías, procesamiento de imágenes y planeación de vuelos del siguiente día.

Viernes 17 de mayo de 2019

7:00 Desayuno en Hotel Tierra Sagrada y salida de Yanhuitlán.
8:00 Visita guiada a Centro de Visitantes del Geoparque Mixteca Alta.
8:30 Traslado a Geosenderos propuestos por los guías (levantamiento aerofotogramétrico en uno de los geositios de estos geosenderos, observaciones geológico-geomorfológicas-culturales en los geositios).
19:00 Regreso a Yanhuitlán. Comida-cena en Comedor Tindee, planeación de vuelos, carga de baterías y procesamiento de imágenes, discusión de observaciones, pernocta.

Sábado 18 de mayo de 2019

7:00 Desayuno en Hotel Tierra Sagrada y salida de Yanhuitlán.
8:00 Traslado a Santiago Mitlatongo, Oaxaca.
11:00 Desplazamiento al sitio del Deslizamiento.
12:00 Levantamiento aerofotográfico con Dron del sitio de deslizamiento.
17:00 Regreso a Yanhuitlán.
19:30 Comida- cena en Comedor Tindee, planeación de vuelos, carga de baterías y procesamiento de imágenes, discusión de observaciones, y pernocta.

Domingo 19 de mayo de 2019

7:00 Desayuno en Hotel Tierra Sagrada y salida de Yanhuitlán.
8:00 Traslado al sitio del deslizamiento sobre la carretera a San Juan Teposcolula.
9:00 Levantamiento aerofotográfico con Dron, observaciones geológico-geomorfológicas.
11:00 Regreso a Morelia.
14:00 Comida en la carretera Arco Norte.
20:00 Llegada a Morelia.

ANEXO 17. Entrega de reporte de campo y cierre de curso. Contenido temático del curso: Tema 17.

Tema 16 <i>Entrega de reporte de campo y cierre de curso</i>		
Actividad: Cierre de curso y finalizar reporte de práctica de campo para entrega.	Duración 2 h	Práctica
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer una retroalimentación para exponer lo aprendido durante el curso y la práctica de campo • Cierre de curso 	
Recursos didácticos y tecnológicos: Equipo de cómputo.		
Notas	<ul style="list-style-type: none"> • La idea de esta última clase es hacer una retroalimentación de los puntos clave durante la práctica de campo y el curso, como los retos enfrentados y superados en cada escenario, el trabajo en equipo e individual. • El alumno elabora un reporte final de la práctica que campo que consiste en un documento sencillo que pretende servir al alumno para futuras referencias para elaborar un vuelo. En este reporte incluye parte de la información que se generó y se procesó en campo, por lo cual no le lleva mucho tiempo al alumno elaborarlo. 	

ANEXO 18. Contenido temático del curso y su distribución de 64 horas con la variante de dos clases de dos horas por semana (Fuente: Elaboración propia).

		MARTES	JUEVES
F E B R E R O	4 y 6	JORNADA INDUCCIÓN ENES	JORNADA INDUCCIÓN ENES
	11 y 13	SALÓN Presentación del curso Introducción a la tecnología de drones	SALÓN Introducción a la tecnología de drones (Funcionamiento de un dron Cardinal)
	18 y 20	SALÓN Conociendo el equipo y DJI GO 4 (breve explicación de la interfaz)	SALÓN Check list
	25 y 27	PRÁCTICA Maniobras básicas de vuelo (figuras)	SIMULADOR Maniobras básicas de vuelo (figuras)
M A R Z O	3 y 5	PRÁCTICA Maniobras básicas de vuelo (figuras)	SALÓN Modos de vuelo y RTH
	10 y 12	SALÓN DJI GO 4	PRÁCTICA Modos de vuelo, RTH y configuración de DJI GO 4
	17 y 19	PRÁCTICA LÍNEAS VUELO MANUAL EN COMBINACIÓN CON MODOS DE VUELO	EVALUACIÓN DE PRÁCTICA DE VUELO
	24 y 26	SALÓN TEORÍA DE PLANEACIÓN DE VUELOS	PRÁCTICA VUELO AUTÓMATICO: GSP DJI, PIX 4
	31	PRÁCTICA VUELO MANUAL CON GSP DJI	

A
B
R
I
L

	MARTES	JUEVES
2		SALÓN REGULACIÓN DE VUELO
7 y 9	SEMANA SANTA	SEMANA SANTA
14 y 16	SALÓN TEORÍA DE PROCESAMIENTO	SALÓN PROCESAMIENTO
21 y 23	PRÁCTICA VUELO CON MISIÓN	SALÓN PROCESAMIENTO
28 y 30	PRÁCTICA VUELO COORDINADO	PRÁCTICA VUELO COORDINADO

M
A
Y
O

	MARTES	JUEVES
5 y 7	SALÓN PROCESAMIENTO	SALÓN PLANEACIÓN DE VUELOS DE CAMPO (sitios despegue, curvas nivel, IPAD)
12 y 14	SALÓN REVISIÓN DE EQUIPO ANTES DE SALIR A CAMPO	PRÁCTICA PRÁCTICA CAMPO HIDALGO EVALUACIÓN DE PRÁCTICA DE VUELO
19 y 21	SALÓN PROCESAR INIFORMACIÓN DE CAMPO	ELABORACIÓN Y ENTREGA DE INFORME DE PRÁCTICA DE CAMPO
26 y 28	PRÁCTICA MODOS DE VUELO INTELIGENTE	PRÁCTICA MODOS DE VUELO INTELIGENTE

ANEXO 19. Contenido temático del curso y su distribución en 30 horas de curso semana (Fuente: Elaboración propia).

HORARIO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES		VIERNES
09:00 AM a 10:00 AM	Presentación e introducción	Simulador (check list para los que se incorporan)	Planeación de vuelos	Preparación de equipo antes del vuelo y procesamiento de información	Regulación de vuelo y calibraciones del equipo
10:00 AM a 11:00 AM					
11:00 AM a 12:00 AM	Conociendo al equipo y check list	Modos de vuelo inteligente	GSP, PIX 4D	Práctica de vuelo	Práctica de vuelo y procesamiento
12:00 AM a 01:00 PM		DJI GO 4	Práctica de vuelo		
01:00 PM a 02:00 PM	Simulador	Práctica de vuelo		Práctica de vuelo	Práctica de vuelo
02:00 PM a 03:00 PM					

ANEXO 20. Ejemplo de la información complementaria que se comparte con los alumnos (Fuente: Elaboración propia).

Información complementaria

ACONTECIMIENTOS SIGNIFICATIVOS QUE TUVIERON UN FUERTE IMPACTO EN LA HISTORIA DEL ORIGEN DE LOS DRONES

Aunque lo siguiente no concuerda con la definición actual que le damos a los drones, el concepto si se ajusta al vuelo y al uso de una plataforma no tripulada que puede portar una carga



el tipo de superficie a modelar debe ser conocido, si es un terreno plano o arbitrario si es un objeto aislado

datos de donde extraerá la información

en caso de tener puntos clasificados como arboles, edificios, etc. puedo seleccionarlos y prescindir de ellos

Crear malla

▼ Ajustes generales

Tipo de superficie: Superficie (terreno (2.50))

Datos fuente: Nube de puntos densa

Número de caras: 999 (997,275)

▼ Avanzado

Interpolación: Habilitada (por defecto)

Clase de puntos: Todos Seleccionar...

Calcular los colores de vértices

Aceptar Cancelar

número de caras o polígonos que va a crear

- Habilitada (por defecto), se cerrarán los agujeros que quedaron producto de falta de información
- Extrapolada, es para que la malla se extienda hasta los límites de la caja
 - Desactivado, se cancelará esta opción

NUBE DE PUNTOS Densa: CALIDAD Y PRECISIÓN

MÁXIMA
Puntos de enlace 45,235,304
Tiempo 9 minutos 28 segundos



MEDIA
Puntos de enlace 2,807,240
Tiempo 10 segundos



MINÍMA
Puntos de enlace 164,061
Tiempo 0 segundos



ANEXO 21. Ejemplo de una de las evaluaciones realizadas para la clase en la plataforma Socrative, con preguntas de opción múltiple o falso y verdadero (Fuente: Elaboración propia).

*****	0	C								
*****	6 ✓	B	Falso	Verdader	Verdader	Falso	C	Falso	Falso	Verdader
*****	4 ✓	A	Falso	Verdader	Verdader	Falso	A	Falso	Falso	Falso
*****	6 ✓	B	Verdader	Verdader	Verdader	Verdader	D	Falso	Falso	Falso
*****	8 ✓	B	Verdader	Verdader	Verdader	Falso	D	Falso	Falso	Verdader
*****	5 ✓	B	Falso	Verdader	Verdader	Verdader	C	Falso	Falso	Verdader
*****	6 ✓	B	Verdader	Falso	Verdader	Falso	D	Falso	Falso	Falso
*****	7 ✓	B	Verdader	Verdader	Verdader	Falso	C	Falso	Falso	Verdader



Nombre _____

Fecha _____

Procesamiento de información

Puntuación _____



¿Para qué se aplica la fotogrametría?

- A para corregir las imágenes de los drones que se tomaron desenfocadas
- B para corregir la distorsión de las imágenes procedente de la cámara o de la curvatura de la tierra, entre otros factores que podrían afectar.
- C para aplanar todas las fotografías y elaborar mapas

6. El control remoto, a través de sus joysticks controla la orientación y el movimiento de la aeronave

Verdadero

- i* Recuerda, los joysticks se pueden retirar y poner en cualquier momento, pero si no los ajustas correctamente el control remoto te notificará mediante un mensaje de texto en su pantalla LCD y al mismo tiempo emitirá un sonido.



7. Maniobra para encender motores

Verdadero

- i* Esta maniobra es para encender motores, no obstante también es para apagar motores cuando el dron esta en el suelo, y se usa como maniobra de emergencia para apagar motores en el aire. Existe otra maniobra en el control remoto para encender motores y es con las palancas abajo y afuera (en lugar de dentro). **ES MEJOR APRENDERSE SOLO UNA MANIOBRA PARA EVITAR MOVER LAS PALANCAS PARA TODOS LADOS EN MOMENTOS CRÍTICOS**



8. Palanca izquierda hacia abajo es para apagar motores y permitir que el dron descienda

Verdadero

- i* El dron baja si llevamos en línea recta el joystick izquierdo y cuando detecta que está a nivel del suelo los motores se apagan. Desde la app DJIGO4, se puede cambiar la configuración del control remoto, es decir, como lo usamos ahora es el modo 2 (izq=movimiento vertical, der=movimiento horizontal), pero si se desea, la configuración pueden invertir.

