



Alejandro Di Bernardi
Grupo Transporte
Aéreo (UIDET
GTAGIAI),
Departamento
de Aeronáutica,
Facultad de
Ingeniería,
Universidad
Nacional de
La Plata.

Expositor en
Simposio JST

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

Nuevas tendencias en la movilidad aérea urbana y avanzada

En este artículo se plantea un abordaje de los aspectos relacionados con la innovación tecnológica como parte de un enfoque sistémico tendiente a disminuir o neutralizar las emisiones de la aviación y su aporte al cambio climático, el ruido generado por las aeronaves y las emisiones asociadas a la calidad del aire local.

Introducción

Al transporte aéreo se lo puede analizar y evaluar desde una perspectiva internacional, regional, nacional, provincial, local, o bien puntual, según una determinada instalación o infraestructura que se desee considerar. A su vez, se contempla la propia dinámica, evolución y transformación particular de la actividad, definiendo así diferentes escalas espaciales y temporales de acción y ejecución en un todo de acuerdo con los contextos propios de acción que le corresponden.

También, el sistema de transporte aéreo debiera estar articulado con un plan intermodal de transporte al servicio de planes estratégicos de desarrollo, en un todo de acuerdo con políticas de estado y objetivos asociados, entre los cuales deberían estar presentes de manera armónica la seguridad operacional, la protección ambiental (y dentro, el concepto de sostenibilidad), el marco legal regulatorio y la optimización de los modelos de gestión.

En este contexto de permanente cambio, la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) establece una serie de líneas de acción, genera documentación de referencia y fija objetivos estratégicos (OE) en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas.

“El sistema de transporte aéreo debiera estar articulado con un plan intermodal de transporte al servicio de planes estratégicos de desarrollo, en un todo de acuerdo con políticas de estado y objetivos asociados”.

Es entonces que, contemplando lo anterior, el presente trabajo pretende abordar, de manera general, ciertas tendencias sobre determinados aspectos de investigación y desarrollo, comentando además sobre los nuevos conceptos de movilidad aérea urbana (UAM) y movilidad aérea avanzada (AAM), pero sin perder de vista el contexto general de actuación en el marco de la aviación civil internacional, y poniendo en evidencia algunas acciones en relación con los ejes temáticos de la presente publicación.

Naciones Unidas y Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Carta de las Naciones Unidas estableció, en 1945, la creación del Consejo Económico y Social (ECOSOC) siendo hoy uno de los seis órganos principales de dicho organismo. En su portal¹, se evidencia su misión, la cual se transcribe a continuación:

“El Consejo Económico y Social forma parte del núcleo del sistema de las Naciones Unidas y tiene como objetivo promover la materialización de las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, social y ambiental). Este órgano constituye una plataforma fundamental para fomentar el debate y el pensamiento innovador, alcanzar un consenso sobre la forma de avanzar y coordinar los esfuerzos encaminados al logro de los objetivos convenidos internacionalmente. Asimismo, es responsable del seguimiento de los resultados de las grandes conferencias y cumbres de las Naciones Unidas”.

Para llevar a cabo esta misión resulta necesario coordinar esfuerzos y acciones entre las diferentes entidades de las Naciones Unidas que trabajan en temáticas vinculadas al desarrollo sostenible. Entre estas áreas de actuación y acción podemos encontrar comisiones económicas y sociales de carácter regional, comisiones orgánicas –encargadas de facilitar los debates intergubernamentales–, agencias especializadas, programas y fondos, institutos de investigación y otras entidades y cuerpos que articulan acciones específicas, con el fin de lograr que los compromisos relativos al desarrollo se traduzcan en cambios reales en la vida de las personas.

En este marco de contención nos toca ahora hacer referencia general a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, los cuales podemos repasar con claridad en su respectivo sitio web².

Al explorar los contenidos generales de cada ODS apreciaremos que, actualmente, existen cerca de 169 metas relacionadas con la pobreza, el hambre, la nutrición, la seguridad alimentaria, la promoción de la agricultura sostenible, la salud y el bienestar de la población, la educación inclusiva, equitativa y de calidad, la igualdad entre los géneros, el empoderamiento de las mujeres y las niñas, el acceso al agua y su gestión sostenible, la energía asequible, segura y sostenible, el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos, las infraestructuras resilientes, la industrialización inclusiva y sostenible, la innovación, la desigualdad, las ciudades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, el consumo y producción sostenibles, el cambio climático, el uso sostenible de los recursos hídricos, los ecosistemas terrestres y la biodiversidad, las sociedades, las instituciones y la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

La pregunta que surge entonces es: ¿cuáles de estos ODS tienen su correlato directo con los OE de la OACI? Este interrogante tiene respuesta en la propia web de

1. Disponible en <<https://www.un.org/ecosoc/es/content/about-us>>

2. Disponible en <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>>

OACI³ donde indica que sus 5 OE se relacionan con 15 de los 17 ODS de la ONU. Al explorarlos podremos observar las acciones que la Organización de Aviación Civil Internacional está llevando adelante con el fin de contribuir a cada ODS referenciado.

“En este contexto, la OACI ha definido tres grandes metas ambientales en las que busca limitar o reducir: las emisiones de la aviación y su aporte al cambio climático, el ruido generado por las aeronaves y las emisiones asociadas a la calidad del aire local.



Claramente, podríamos analizar y precisar cuáles programas, planes y acciones son los específicos para cada ODS en relación con cada OE, pero esto, atento a la extensión que ello conlleva, lo dejaremos para otra publicación.

La OACI, sus objetivos estratégicos y líneas de acción ambiental

La OACI establece de manera regular objetivos estratégicos⁴ (OE) de carácter general, siendo los vigentes los cinco siguientes:

- Seguridad operacional
- Capacidad y eficiencia
- Seguridad y facilitación
- Desarrollo económico
- Protección del medio ambiente

Del repaso de las áreas temáticas abordadas por cada OE podemos inferir sus contenidos sin la necesidad de profundizar demasiado en ellos. No obstante, en esta ocasión, y atento a la temática elegida para el presente artículo, solo haremos mención específica sobre uno de ellos, con la intención de repasar, a modo de reflexión, ciertos aspectos particulares para luego vincularlos de manera muy general con los ODS de la ONU.

Protección del ambiente, un objetivo estratégico de la OACI

“Minimizar los efectos ambientales adversos de las actividades de la aviación civil. Este objetivo estratégico promueve el liderazgo de la OACI en todas las actividades relacionadas con el medio ambiente y la aviación, y concuerda con las prácticas y políticas de protección del medio ambiente de la OACI y del sistema de las Naciones Unidas”⁵.

De lo expresado resulta claro que las pautas indicadas se encuentran vinculadas con el desarrollo social, económico y ambiental en un todo, de acuerdo con los preceptos del desarrollo sostenible.

En este contexto, la OACI⁶ ha definido tres grandes metas ambientales en las que busca limitar o reducir:

- las emisiones de la aviación y su aporte al cambio climático,
- el ruido generado por las aeronaves,
- las emisiones asociadas a la calidad del aire local.

Al analizarlas, podemos apreciar diferentes escalas de actuación e impacto. La primera de ellas se relaciona mayoritariamente con el tramo interurbano y el avión, mientras que las dos siguientes se encuentran vinculadas al aeropuerto y su entorno inmediato, en todo de acuerdo con un contexto urbano o suburbano de multimodalidad.

A su vez, en concordancia con ello, se han establecido las siguientes esferas de acción que buscan contribuir a la obtención de las metas establecidas con el fin de obtener una mejora anual de la eficiencia del combustible del 2 %, y un crecimiento neutro de carbono a partir del 2020:

- implementación de tecnologías y normas relativas a las aeronaves,
- perfeccionamiento de la gestión del tránsito aéreo y mejoras operacionales,
- desarrollo y utilización de combustibles aeronáuticos sostenibles,
- puesta en funcionamiento del esquema de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional CORSIA.

Estas nuevas tecnologías se evidencian y proyectan en todos los eslabones que conforman el sistema de transporte aéreo, por cuanto buscan optimizar los procesos y las operaciones que se dan en los propios

3. Disponible en <https://www.icao.int/about-icao/aviation-development/Pages/ES/SDG_ES.aspx>

4. Disponible en <<https://www.icao.int/about-icao/Council/Pages/ES/Strategic-Objectives.aspx>>

5. Disponible en <https://www.icao.int/Documents/strategic-objectives/strategic_objectives_2005_2010_es.pdf>

6. Disponible en <<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/default.aspx>>

aeropuertos, en el espacio aéreo, en los elementos de apoyo en los aeródromos y, por supuesto, en las propias aeronaves y sus vehículos de asistencia.

Con ello, se pretende optimizar los procesos y las operaciones, contribuyendo significativamente al cuidado y protección ambiental, minimizando la emisión de gases contaminantes y reduciendo el impacto acústico, en un todo de acuerdo con los conceptos de sostenibilidad y los OE de OACI.

La industria del transporte aéreo e innovación

En concordancia con lo anterior, los Estados miembros trabajan para obtener un sistema de transporte más amigable con el ambiente y es, en este contexto, que han publicado sus planes de acción, en los que se aprecian las diferentes estrategias utilizadas para lograr los objetivos establecidos. Es la innovación tecnológica uno de los ejes fundamentales de investigación, desarrollo y actuación del sector aeronáutico.

En este contexto de permanente transformación, aparece el concepto de biomimetismo, en donde se busca imitar los diseños y los procesos de la naturaleza para resolver problemas técnicos, generando así ciertos patrones de desarrollo que permiten, en el caso de las aeronaves, reducir la resistencia aerodinámica y el peso de las mismas como fuerzas negativas, al tiempo que optimiza aquellas fuerzas positivas que se relacionan con la sustentación y el empuje de los motores.

Aspectos generales de innovación centrados en el peso

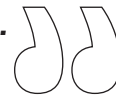
Esta línea de acción busca, básicamente, disponer de aeronaves más livianas mediante la utilización de materiales compuestos y alternativos, aplicados a estructuras primarias y/o secundarias, permitiendo a su vez procesos optimizados de mantenimiento. En concordancia con ello, Airbus se encuentra estudiando:

- **Fibras de biomasa:** las obtiene carbonizando precursores obtenidos a partir de biomasa derivada de materias primas. Su uso en biocomponentes podría dar como resultado materiales compuestos que brinden una alternativa a las fibras de carbono obtenidas del petróleo. Las áreas de investigación incluyen las algas.
- **Resinas de origen biológico:** derivan de fuentes biológicas, como por ejemplo la caña de azúcar y la lignina, entre otros. Su uso podría proporcionar una alternativa a los fenólicos en aviones. Las áreas de investigación incluyen furano, epoxi y poliamida.



- **Fibras naturales:** estas derivan de animales, plantas o minerales y, debido a sus propiedades de bajo peso y alta resistencia, pueden ser utilizadas como biocomponentes en estructuras secundarias no críticas de aeronaves. Las áreas de estudio incluyen fibras de basalto, sedas de araña, cañas de bambú y lino.

“Los Estados miembros trabajan para obtener un sistema de transporte más amigable con el ambiente. Es la innovación tecnológica uno de los ejes fundamentales de investigación, desarrollo y actuación del sector aeronáutico.”



Aspectos generales de innovación centrados en la resistencia y la sustentación

Esta línea de acción busca que los vehículos aéreos y sus componentes se adapten a los requisitos funcionales de misiones establecidas. La conciliación conlleva cambios en las características del sistema, incluidos los estados del vehículo, como la propia forma de la aeronave durante los diferentes perfiles de vuelo, y surge así el concepto de ala mofante.

La idea, aunque un poco futurista, se centra en el hecho de que el avión o sus alas puedan transformarse en pleno vuelo adaptándose a la condición de mínima resistencia según el perfil de vuelo (altitud y velocidad), como si fuera un ave.

A su vez, se pretende una mayor limpieza aerodinámica del flujo de aire sobre las alas, que busca un flujo laminar sobre las mismas, y lograría una reducción en la fricción del ala incrementando los anchos colaborativos, lo que retrasaría los despegues de capa límite.

Otro ejemplo es aquel que permite a las aeronaves modificar la relación de aspecto de sus alas mediante bisagras semi aeroelásticas en las punteras de ala, lo cual impacta de manera directa sobre la resistencia inducida por la sustentación que, en algunos casos, representa más del 30 % de la resistencia aerodinámica de la aeronave.

Otras tendencias se centran en un diseño de ala liviana, ultradelgada y más aerodinámica, con el fin de ofrecer un incremento en la eficiencia de consumo de combustible.

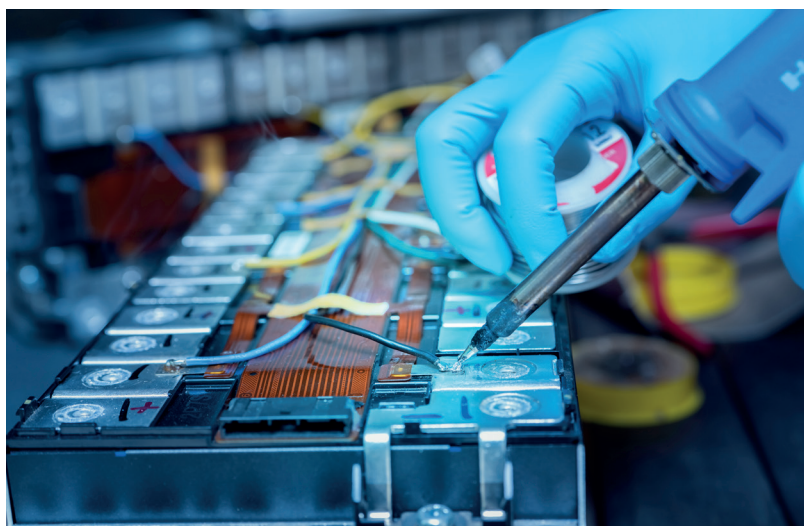
En correspondencia con ello, están los nuevos revestimientos o texturas que imitan la piel de un tiburón o las aleaciones con memoria de forma, donde un metal funciona con propiedades particulares únicas, que posibilitan al dispositivo adecuarse por sí solo a cada condición de vuelo.

Aspectos generales de innovación centrados en la propulsión

Los desarrollos relacionados con los motores están centrados, entre otras cosas, en mejorar los procesos asociados a la combustión, la eficiencia de propulsión y el fluido termodinámico, en la reducción del peso y en la neutralización de los aportes contaminantes.

En este contexto, y en relación con los productos contaminantes, se está trabajando en biocombustibles, combustibles alternativos y otros medios de propulsión que se encuentran en estudio y desarrollo:

- **Biocombustibles:** entre ellos se encuentran los de primera, segunda, tercera y cuarta generación, siendo los de tercera generación aquellos cuya materia prima proviene de plantas acuáticas. Estas no requieren el uso directo del suelo y pueden cultivarse en biorreactores, o bien directamente en el mar. El combustible obtenido es el que menor competencia de recursos posee por cantidad de combustible producido. La clasificación de esta generación ha sido introducida por



el transporte aéreo en los últimos años y ya se han realizado estudios respecto a la viabilidad de su producción a gran escala para satisfacer los requisitos del transporte aéreo civil. Por otro lado, están aquellos denominados de cuarta generación, que pueden elaborarse sin utilizar tierras y no requieren la destrucción de biomasa para ser convertida en combustible.

- **Combustibles fotobiológicos y los electro-combustibles:** refiere así a los procesos de producción. Entre ellos se encuentra el "hidrógeno verde" el cual se obtiene de la electrólisis del agua utilizando electricidad de fuentes de energía renovable.

"Se puede apreciar que el combustible del futuro estará centrado en el hidrógeno, o mejor dicho, en el hidrógeno verde, a pesar de que esta tecnología es aún embrionaria para su aplicación en el sistema de transporte aéreo."



- **Otros hidrógenos:** en la actualidad, aproximadamente el 95 % de la producción de hidrógeno del mundo se realiza a partir de combustibles fósiles, y se lo conoce con diferentes nombres, como por ejemplo hidrógeno gris –obtenido a partir del vapor del gas–, o hidrógeno azul, que es cuando existe captura de dióxido de carbono.
- **Otros medios de propulsión:** entre ellos se encuentra el desarrollo de pilas de ion-litio y otros tipos de pilas, con el fin de ser utilizadas como fuentes de energía para la propulsión. De esta manera las aeronaves tendrían un espectro amplio de par motor y potencias para diferentes niveles de vuelo.

Un aspecto a destacar en relación con los combustibles es su densidad energética, ya que indica la cantidad de energía que este posee por unidad de volumen o peso. A menor densidad energética resulta necesario consumir más combustible (volumen y masa) para producir la misma cantidad de trabajo. La relación actual de los valores promedio aproximados se aprecia en los siguientes datos referenciales:

COMBUSTIBLE	DENSIDAD ENERGÉTICA
combustible fósil gaseoso	13.000 Wh/Kg
combustible fósil líquido	12.000 Wh/Kg
hidrógeno	34.500 Wh/Kg
batería de litio	300 Wh/Kg
batería de plomo	30 Wh/Kg

Claramente, se puede apreciar que el combustible del futuro estará centrado en el hidrógeno, o mejor dicho, en el hidrogeno verde, a pesar de que esta tecnología es aún embrionaria para su aplicación en el sistema de transporte aéreo.

Aspectos relacionados con nuevas tendencias en movilidad aérea

En los últimos años ha tomado un fuerte impulso el desarrollo de los *electric vertical take off and landing* (eVTOL), vehículos vinculados a la movilidad aérea urbana (UAM) y a la movilidad aérea avanzada (AAM). Se estima que estas aeronaves reemplazarán y complementarán a una parte de la actual aviación general. Un ejemplo de la utilización cada vez más creciente de estos drones lo podemos ver en las aeronaves verificadores de radioayudas, que vienen reemplazando a los aviones que habitualmente se utilizan en dicha actividad, o bien en el reemplazo de helicópteros para inspección de líneas de alta tensión.

Pero más allá de los drones que hasta ahora todos conocemos, algunas de las preguntas que surgen ante la nueva movilidad aérea son: ¿cómo se movilizará la carga? ¿cómo lo harán los pasajeros? ¿usarán los mismos vehículos o serán específicos? ¿qué características tendrán? ¿serán autónomos o pilotados? ¿qué servicios adicionales necesitarán? ¿cuáles serán sus medios de propulsión? ¿qué infraestructura aeronáutica requerirá? ¿cómo serán sus terminales? ¿qué características tendrán los elementos de apoyo? ¿cómo se combinaron con otros medios de transporte aéreos, terrestres o marítimos/fluviales? Y así podríamos seguir hasta llenar varias páginas con interrogantes que aún tienen una respuesta relativa, o bien en algunos casos no la tienen.

Lo cierto es que, hoy por hoy, tenemos más preguntas que respuestas, pero justamente de eso se trata la planificación, de anticipar ciertos posibles escenarios que, con cierto nivel de certeza, tengan la posibilidad de concretarse.

En ese sentido, los nuevos vehículos se encuentran aún en fases de desarrollo, como también lo está la propia normativa. Un ejemplo de estos vehículos destinados a la AAM la podemos apreciar en la siguiente imagen:



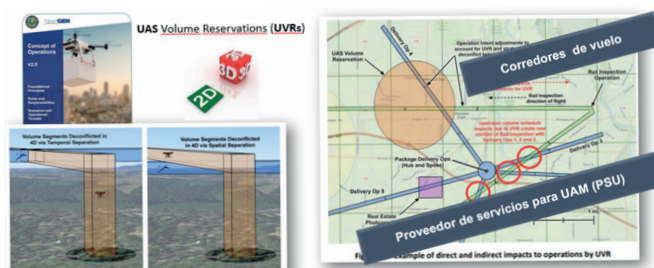
Fuente: OACI + GTA UIDET "GTA-GIAI" UNLP.

A su vez, y más allá de lo publicado por OACI, se pueden observar en las páginas oficiales de la Federal Aviation Administration (FAA), la European Union Aviation Safety Agency (EASA) o bien en la propia National Aeronautics and Space Administration (NASA), los desarrollos y tendencias en relación con este tipo de aeronaves y sus sistemas.

Al recorrer estas webs y al analizar sus contenidos, podemos decir con cierto nivel de certeza que, en algún futuro cercano, los cielos estarán surcados por aeronaves eléctricas del tipo Electric Vertical and Short Take-off and Landing (eVTOL o eSTOL, respectivamente), autónomas o pilotadas (de manera directa o a control remoto) moviéndose en un espacio aéreo controlado o no controlado, pero siempre dentro de sus corredores específicos, según actividad asignada.

Es de suponer, entonces, que la red de infraestructuras terrestres destinadas a la aviación general contemplará ya no solo a los aeródromos y a los helipuertos tradicionales, sino que incluirá a los *vertiports* o *stolports* emplazados en aeródromos, o bien exentos de ellos, implantados en tramas completamente urbanas o suburbanas.

Esto conllevará a pensar en ciudades donde el transporte ya no será fundamentalmente 2D, sino 3D, a través de diferentes redes y subredes, según servicios al pasajero o la carga, o al servicio establecido en un todo de acuerdo con el imperio de la ley, la sostenibilidad y la seguridad operacional como pilares fundamentales del desarrollo específico. Un ejemplo de ello se puede apreciar en la siguiente imagen:

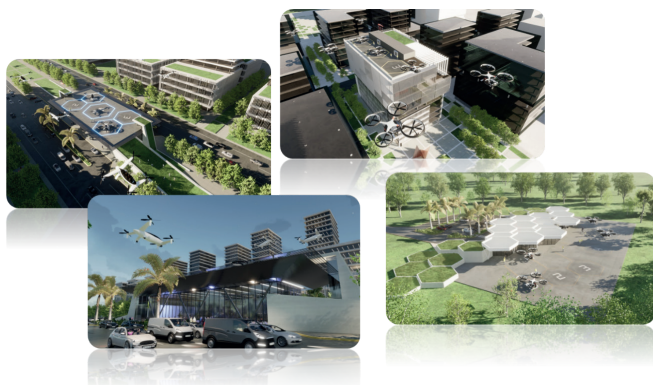


Fuente: FAA.

Para que esto se transforme en una realidad, se necesitará integrar y robustecer varios aspectos como la Big Data, la tecnología 5G, el Internet de las Cosas (IoT), los servicios de gestión del espacio aéreo y los servicios de gestión de los sistemas multimodales de transporte, las infraestructuras, en un todo de acuerdo con las *Smart Cities*, en español "ciudades inteligentes", bajo las premisas de sostenibilidad e inclusividad y articuladas en la multimodalidad y complementariedad integral del transporte.

En este contexto, el Grupo de Transporte Aéreo (GTA) de la UIDET "GTA-GIAI" del Departamento de Ingeniería Aeroespacial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, viene trabajando en el desarrollo de

redes de movilidad aérea y vertiports. Un ejemplo de ellos se visualiza en las siguientes imágenes ilustrativas:



Fuente: GTA-UNLP, 2022.

En este momento, haciendo un paréntesis en lo hasta aquí expresado, le propongo al lector pensar en qué lugar de un aeropuerto podrían emplazar un *vertiport* para la operación de equipos eVTOL destinados a la AAM.

La idea fuerza se relacionará entonces con la idea de crear un complejo dentro de un aeropuerto, permitiendo así la existencia de un nuevo modo de accesibilidad al emplazamiento aeroportuario mediante la utilización de eVTOL a través de las correspondientes infraestructuras e instalaciones.

A su vez, este *vertiport* aeroportuario, estará conectado a una red urbana de *vertiports* que tendrán sus propios criterios de emplazamiento y diseño. Para ambos casos la mejor solución y la mejor localización provendrá del análisis de variables, indicadores, dimensiones y matrices de decisión.

Dentro de las dimensiones habituales de decisión encontraremos las fronteras de los conceptos de "operatividad aeronáutica", "económica financiera", "impacto antrópico", "impacto natural" y "percepción social".

Por último, la solución final dependerá del "cristal" con el que se mire y analice el contexto operativo, ya sea que se ubicará en un aeropuerto o bien en una trama puramente urbana. A su vez, este cristal estará conformado por diversas variables y condicionantes tales como las sociales, culturales, estratégicas, ambientales, técnicas, políticas, económicas, financieras o legales, entre otras. La definición de prevalencia será una cuestión de carácter política, estratégica, técnica/sostenible.

La OACI y la innovación como eje del desarrollo de la aviación mundial

Finalmente, y más allá de los eVTOL, la UAM y la AAM, vale mencionar que la OACI ha creado un sitio web⁷ dedicado a la innovación.

En este contexto, lanzó un concurso⁸ mundial destinado a jóvenes entusiastas invitándolos a participar y exponer ideas tendientes a encontrar y desarrollar nuevas soluciones o servicios que sirvan de apoyo a los cinco OE de la OACI.

Además, estas intenciones de búsqueda y desarrollo de tecnologías y soluciones innovadoras se encuentran plasmadas en el "Plan de Actividades 2023-2025"⁹ de la OACI.

CONCLUSIONES

La industria está realizando grandes esfuerzos por buscar la innovación tecnológica e ir en línea con los ODS de la ONU y los OE de OACI. Resulta fácil apreciar las innovaciones implementadas en los últimos años, que han permitido contribuir a las metas ambientales, sin perder de vista los otros OE, como la seguridad operacional.

También es cierto que se trata de un camino que siempre estaremos recorriendo y es, en ese contexto, que los eVTOL destinados a los pasajeros y la carga en el marco de la UAM y la AAM están surgiendo con fuerza para pronto ser una realidad, aún a pesar de que falta mucho por desarrollar y certificar.

En fin, como dice Eric Hoffer:

"En tiempos de cambio, quienes están abiertos al aprendizaje, se adueñarán del futuro, mientras que aquellos que creen saberlo todo estarán bien equipados para un mundo que ya no existe".

Finalmente, me gustaría cerrar con dos frases de Albert Einstein: "No podemos resolver problemas pensando de la misma manera que cuando los creamos" y "La mente es como un paracaídas, solo funciona si se abre".

En resumen, se han hecho cuantiosos aportes, pero aún hay mucho por idear y hacer. El techo de la innovación solo está en nuestra imaginación.

7. Disponible en <<https://www.icao.int/innovation/Pages/default.aspx>>

8. Disponible en <https://www.icao.int/Meetings/InnovationFair2022/Competition/Pages/default_es.aspx>

9. Disponible en <<https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/ICAO%20Business%20Plan%202023-2025%20V1.0%2025%20July%202022.pdf>>