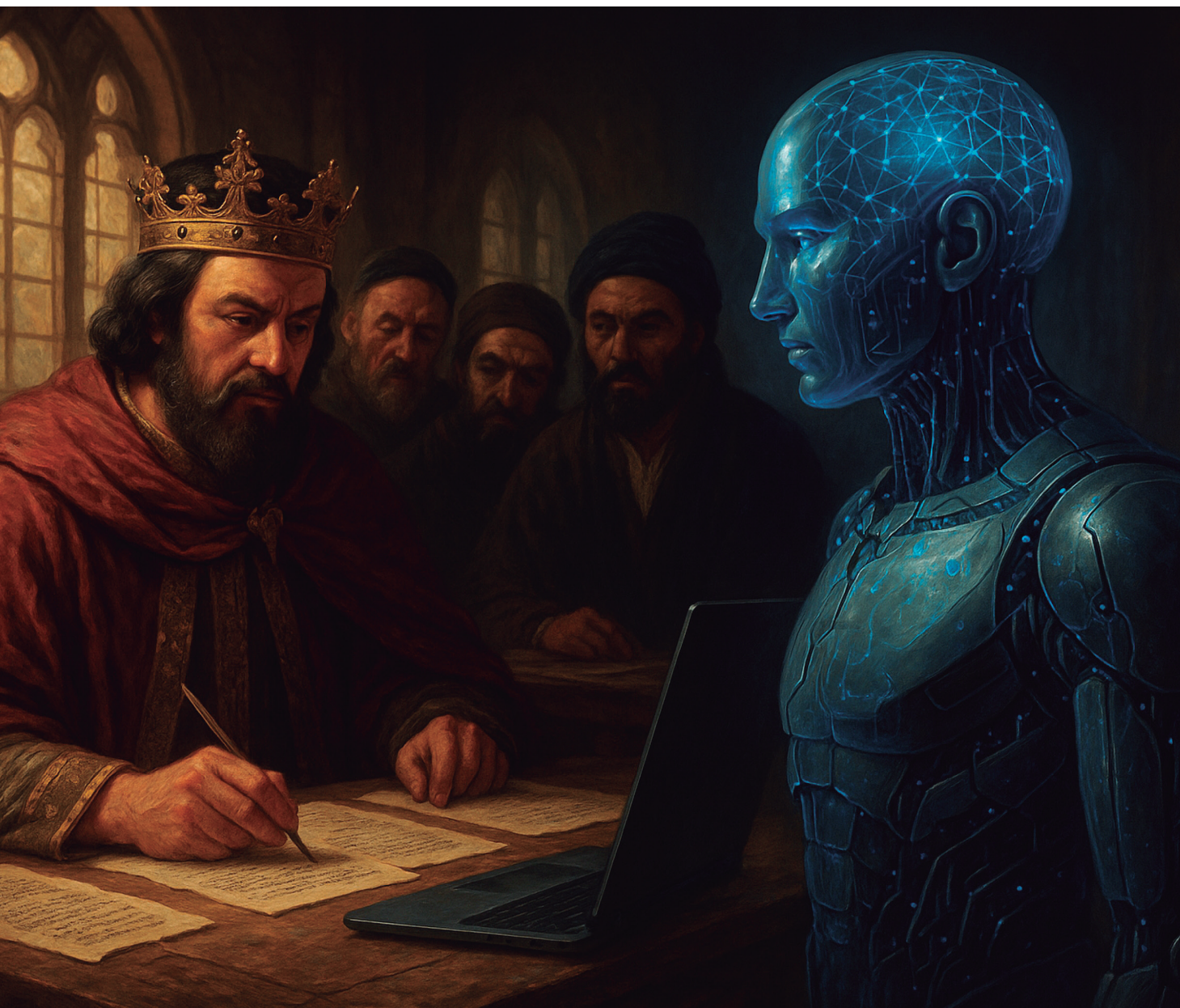




# COORDENADAS123.

Año XXXVII | N°123 | Noviembre-Diciembre/2025



artículo técnico

## 5 Trilogía de agentes de IA en la era GPT5: guía práctica del prototipo al impacto (I)

1 editorial  
Estimados  
colegas

14 noticia  
Matrícula:  
nuevos valores de 2026

19 libro  
Red de área local  
inalámbrica en IoT - GPRS

# NOSOTROS



## Autoridades

### Presidente:

Ing. Enrique Luciano Larrieu-Let

### Vicepresidente:

Ing. Roberto Osvaldo Mayer

### Secretario:

Ing. Luis Alberto Chavarría

### Tesorero:

Téc. Javier Bernardo Gratz

### Consejeros titulares:

Ing. Juan Manuel Beltrán

Ing. Luis Alberto Bibini

Ing. Fabián Salvador Piscitelli

### Consejeros suplentes:

Ing. Hernán Martín Anté

Ing. Marcelo Alberto Crivelli

Ing. Martín Carlos Letier

Ing. Norberto Jesús Solís

Téc. Juan Antonio Vrana

### Comisión revisora de cuentas:

Ing. Eduardo Manuel Caparrós

Ing. Pablo Bernabé Ramón Crivello

Téc. Martín Alejandro Durand



## COORDENADAS 123.

Es la única publicación oficial de



# Contenidos

▶	<b>editorial</b>	<b>1</b>	Estimados colegas
▶	<b>artículo técnico</b>	<b>5</b>	Trilogía de agentes de IA en la era GPT5: guía práctica del prototipo al impacto (I)
▶	<b>noticia</b>	<b>14</b>	Matrícula: nuevos valores de 2026
▶	<b>entrevista</b>	<b>16</b>	El auge de la automatización y las palabras del presidente
▶	<b>libro</b>	<b>19</b>	Capítulo 3: Red de área local inalámbrica en IoT - GPRS
▶	<b>artículo técnico</b>	<b>22</b>	Banda ancha en AM

**COPITEC** | Perú 562, CABA, Argentina | [www.copitec.org.ar](http://www.copitec.org.ar)

Contacto: [secretaria@copitec.org.ar](mailto:secretaria@copitec.org.ar)

[matricula@copitec.org.ar](mailto:matricula@copitec.org.ar) | [consultas@copitec.org.ar](mailto:consultas@copitec.org.ar)

Realización integral Revista Coordinadas:

**Editores SRL** | [consultas@editores.com.ar](mailto:consultas@editores.com.ar)

1. COORDENADAS es una publicación de EL CONSEJO, según registro de propiedad intelectual n°1.904.071

2. Los artículos técnicos y opiniones vertidas son responsabilidad de sus respectivos autores y no reflejan necesariamente la opinión de las autoridades de EL CONSEJO.

3. La propiedad intelectual de la publicación coordinadas, será exclusivamente de EL CONSEJO y se permite su producción total o parcial citando a la fuente

# Estimados Colegas:



**Enrique Larrieu Let**  
Presidente COPITEC

Es un honor dirigirme a ustedes en calidad de presidente del Consejo Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones, Electrónica y Computación (COPITEC) y a la vez como presidente de la Junta Central de los Consejos Profesionales de Agrimensura, Arquitectura e Ingeniería y actividades afines de Jurisdicción Nacional y ciudad de Buenos Aires.

**Como profesionales en nuestras respectivas áreas, también tenemos un papel fundamental que desempeñar en la construcción de un futuro mejor para nuestra nación**

Nuevamente nos encontramos transitando un diciembre colmado de incertidumbres, un momento crucial para nuestro país y nuestra profesión. Sabemos que la situación socioeconómica en Argentina ha sido compleja, afectada por múltiples factores internos y externos que han puesto a prueba nuestra resistencia

y capacidad de adaptación. Sin embargo, como profesionales en nuestras respectivas áreas, también tenemos un papel fundamental que desempeñar en la construcción de un futuro mejor para nuestra nación.

## Contexto actual

Vivimos momentos desafiantes en nuestro país. La situación socioeconómica ha presentado dificultades que todos estamos sintiendo en diferentes ámbitos, desde el aumento de costos de impuestos, productos y servicios hasta la incertidumbre en el mercado productivo y laboral. Las telecomunicaciones, no obstante, son un sector que sigue mostrando avanzado potencial, siendo crucial en la adaptación de nuestra sociedad a un mundo cada vez más digital y conectado.

La inflación persistente, la volatilidad del tipo de cambio y los altos niveles de desempleo han impactado en la calidad de vida de los argentinos y, por ende, la inversión en tecnología y telecomunicaciones. Sin embargo, es crucial recordar que dentro de esta adversidad se encuentran también oportunidades. La necesidad de modernizar nuestra infraestructura tecnológica y de comunicaciones presenta un campo fértil para el ejercicio de nuestras profesiones. El sector de telecomunicaciones y tecnología de la información es un pilar esencial para la reactivación económica. La digitalización ha avanzado a pasos

agigantados, y a medida que la economía mundial se desplaza hacia un enfoque más centrado en la tecnología, estamos invitados a ser parte de este cambio. Como ingenieros, debemos estar preparados para abordar tanto los retos como las oportunidades que surgen de una I+D que puedan sostener nuestro crecimiento y capacidad de innovación. En este contexto, nos enfrentamos al reto de fomentar la innovación y la inversión en infraestructura tecnológica, elementos esenciales para impulsar el desarrollo de nuestro país. La demanda de conectividad continúa en aumento, y nos corresponde como profesionales contribuir a satisfacer esa necesidad de manera ética y responsable.

## Nos enfrentamos al reto de fomentar la innovación y la inversión en infraestructura tecnológica

### Desafíos

El empleo en el sector de telecomunicaciones, la electrónica y la computación ha experimentado transformaciones significativas en los últimos años. La velocidad de los cambios técnicos y la creciente demanda de profesionales calificados ha derivado en una competencia feroz en el mercado laboral. Muchos de ustedes se han visto enfrentados a desafíos, como la incorporación de habilidades para mantenerse al día con las tecnologías emergentes, desde la inteligencia artificial, la nanotecnología, la IoT, y la computación cuántica.

Las telecomunicaciones son un motor fundamental para la modernización de nuestras infraestructuras y la economía digital. La expansión de la infraestructura de Internet, la implementación de tecnologías de fibra óptica hasta el hogar y la adopción de nuevas

tecnologías como 5G son solo algunos de los ejemplos donde nuestro campo puede marcar la diferencia.

## La adopción de nuevas tecnologías como 5G son solo algunos de los ejemplos donde nuestro campo puede marcar la diferencia.

En el campo de la eficiencia energética y las energías renovables también aparecen nuevos desafíos y oportunidades.

Aprovecho esta oportunidad para alentar a cada uno de ustedes a mantenerse actualizados y capacitados en las últimas tendencias y tecnologías. Las capacitaciones, los cursos y los talleres que el COPITEC y FUN-DETEC ofrecen son recursos valiosos para fortalecer nuestras competencias y adaptarnos a un panorama laboral en constante evolución. La colaboración y la formación continua son claves para que podamos destacarnos y ofrecer soluciones efectivas ante los desafíos que enfrentamos.

### Normativas

En cuanto a la legislación vigente, es vital que estemos informados sobre los marcos normativos que regulan nuestro ejercicio profesional. La Ley de Telecomunicaciones y otros marcos regulatorios en desarrollo son fundamentales para asegurar que podamos ejercer nuestra profesión en un entorno justo y equitativo. El COPITEC, así como el resto de los consejos profesionales nucleados en la Junta Central, somos asesores privilegiados del Estado, y es nuestra responsabilidad como profesionales involucrarnos activamente, apor-



tar opiniones y contribuir al debate sobre las políticas que afectan nuestras áreas de actuación. Estar presente en las mesas de debate es una forma de fortalecer nuestra profesión y garantizar que se escuchen nuestras inquietudes y propuestas.

**Somos asesores privilegiados del Estado, y es nuestra responsabilidad como profesionales involucrarnos activamente, aportar opiniones y contribuir al debate sobre las políticas que afectan nuestras áreas de actuación**

El COPITEC se encuentra en constante monitoreo de la legislación vigente y se compromete a ser un puente entre los profesionales y las autoridades competentes. Les insto a que, como matriculados, consideren participar en estas iniciativas y contribuir con su conocimiento y experiencia en pro de un marco regulatorio que beneficie tanto a nuestros profesionales como a la sociedad en su conjunto.

En estos días estamos trabajando intensamente en dos proyectos de ley recientemente aprobados vinculados a la creación de consejos profesionales en jurisdicción de ciudad de Buenos Aires y a una iniciativa de las cancillerías de los países miembros del Mercosur vinculada al ejercicio profesional temporal de ingenieros, arquitectos, técnicos y afines. También se está trabajando en una ley de electromovilidad, y en otra de eficiencia energética en viviendas, que esperamos genere nuevas oportunidades laborales en campos

nuevos a los ya tradicionales del consejo; así como en la integración y potenciación con cámaras, gremios, cooperativas, instituciones empresarias y educativas.

Hay mucha actividad silenciosa que no se anuncia hasta que se alcancen los resultados buscados: se trata de anunciar logros y no deseos, como solemos estar acostumbrados.

Por otro lado, en tiempos de incertidumbre, la integración y la colaboración se vuelven esenciales. Los animo a estrechar lazos con sus colegas, compartir experiencias y buscar oportunidades de colaboración que fortalezcan no solo su desarrollo profesional individual, sino también el crecimiento de nuestra comunidad como un todo.

**Buscar oportunidades de colaboración que fortalezcan no solo su desarrollo profesional individual, sino también el crecimiento de nuestra comunidad como un todo**

En este sentido, el COPITEC está trabajando en fortalecer su red de contactos y crear oportunidades para que puedan interactuar y colaborar con otros profesionales de la industria. La cooperación interprofesional puede abrir puertas y generar sinergias que deriven en proyectos innovadores que beneficien a nuestra sociedad.

Los insto a que se vinculen con el COPITEC a través de sus comisiones internas y de las capacitaciones a través de nuestra fundación para el desarrollo de las

tecnologías FUNDETEC. Ser parte activa de nuestra comunidad profesional les permitirá acceder a una red de colegas con ideas afines y a recursos, formación continua y oportunidades laborales que pueden potenciar aún más sus trayectorias profesionales.

### Para concluir...

...quiero señalar cuál es el fin último para el cual dedicamos tanto esfuerzo, es para servir a los demás colaborando de manera directa o indirecta a satisfacer necesidades básicas del hombre y mejorar su calidad de vida con ética profesional y cuidando a la vez el planeta en el que habitamos.

Nos pueden quitar todos los bienes materiales, pueden regalar todos nuestros recursos naturales, pero lo único que nos brinda verdadera libertad y que no nos pueden sacar es el conocimiento adquirido y las habilidades aprendidas, así que los aliento a mantener siempre la curiosidad y el espíritu de aprendizaje que los ha llevado hasta aquí, y les pido que siempre

defiendan el derecho a la educación, al ejercicio del trabajo y la producción.

**Lo único que nos brinda verdadera libertad y que no nos pueden sacar es el conocimiento adquirido y las habilidades aprendidas**

Aprovecho la altura del año en la que estamos para desearles a todos Felices Fiestas y muy buen año 2026.



En su última reunión del año, la Comisión Directiva junto con los coordinadores de las comisiones internas y los asesores invitados por las autoridades de nuestro Consejo realizaron un brindis reafirmando su compromiso con un COPITEC cada vez más útil y eficiente.

# Trilogía de **agentes de IA** en la era **GPT5**: guía práctica del prototipo al impacto (I)

Los agentes de IA superan a los chatbots al combinar comprensión del lenguaje con memoria, herramientas y planificación de acciones. Se presentan cinco tipologías prácticas y un mapa rápido para elegir según el objetivo y el riesgo del proyecto. Incluye ejemplos comunes (help desk, ventas, RR. HH.) y un checklist mínimo aplicable a cualquier implementación. La serie continuará con gobernanza, normativa y métricas para despliegues responsables.

**Leonardo López**

Mat.: I6913

Ingeniero en Telecomunicaciones

Máster en Ciencias de Datos (ORCID: 0009-0000-4024-3427)

## De los consejeros del rey a los agentes de IA

En 1252, el rey Alfonso X “el Sabio” reunió en Toledo a una corte de matemáticos, astrónomos y traductores —judíos, musulmanes y cristianos— para transformar conocimiento disperso en decisiones de gobierno y ciencia aplicada. De ese equipo nacieron, entre otras obras, las Tablas Alfonsíes (c. 1260-1272), que guiaron

durante siglos la astronomía y la navegación europeas.

El rey tomaba las decisiones, pero su red de expertos calculaba, contrastaba fuentes y proponía planes verificables.

Ocho siglos después, seguimos buscando ese consejero ideal... solo que ahora lo programamos. Un agente de IA es ese asesor superin-

teligente en versión software: entiende el contexto, planifica pasos, actúa invocando herramientas (API, bases de datos, RPA) y deja una traza auditable.

En esta primera entrega, presentamos cinco tipologías prácticas, con ejemplos reales, para que se pueda elegir el diseño más adecuado y evitar que un proyecto se pierda en prototipos sin impacto.

## Human-in-the-loop (HITL)

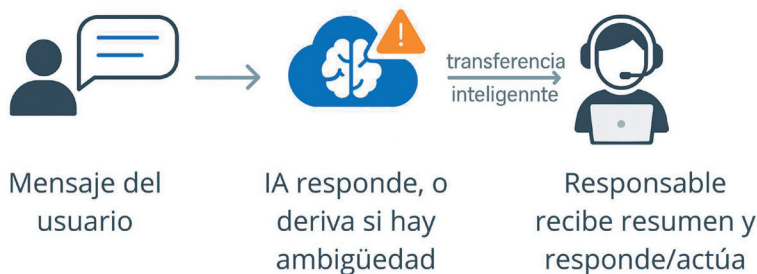


Figura 2. HITL

### Cinco tipologías prácticas (para diseñarlos sin perderse)

#### Conversacional con HITL

Conversacional con HITL es el tipo más común y, a la vez, uno de los más efectivos cuando la interacción con el usuario es frecuente y variada. Funciona manteniendo una conversación 'natural' para resolver las solicitudes habituales, pero transfiere el caso a una persona cuando detecta ambigüedad, riesgo o baja certeza, siempre con un resumen claro que agilice la respuesta humana.

Ejemplos:

- » En un *help desk* corporativo de TI, por ejemplo, puede restablecer contraseñas, informar el estado de tickets, guiar procesos de *onboarding* o recordar políticas internas, y escalar únicamente cuando se trata de accesos privilegiados, incidentes fuera de guion o alertas de ciberseguridad.
- » En un equipo de preventa o ventas B2B técnico, puede ofrecer disponibilidad por región, plazos de entrega, fichas técnicas y agendar demostraciones, dejando a un humano las cotizaciones especiales, licitaciones (RFP), integraciones complejas o excepciones legales.
- » En cuadrillas de instalación de fibra o radioenlaces, puede gestionar un *checklist* EHS, verificar materiales, guiar los pasos de instalación, registrar fotos y consultar planos u OTDR, derivando sólo cuando hay riesgos físicos, permisos

pendientes, discrepancias con el plano o cortes imprevistos.

Su efectividad depende de reglas claras de derivación, mensajes concisos con enlaces útiles y transparencia para reconocer cuándo "no sabe". Brilla como interfaz masiva para consultas repetitivas que requieren criterio humano solo en casos críticos, aunque si deriva demasiado pierde valor, por lo que conviene medir la tasa de derivación y optimizar sus guiones.

#### Orquestador Agentic (*plan-act-check*)

Este agente no se limita a conversar: 'entiende' el pedido, lo descompone en pasos, ejecuta las acciones necesarias y verifica que todo haya salido bien. Un ejemplo típico sería gestionar el alta de un proveedor validando datos, creando el registro en el ERP, subiendo la documentación y notificando al solicitante. Antes de actuar, muestra un borrador de la operación, lo que da margen para confirmar o corregir.

**Uno de los más efectivos cuando la interacción con el usuario es frecuente y variada**

**Brilla en procesos repetitivos que involucran múltiples sistemas y requieren coordinación fina**



Brilla en procesos repetitivos que involucran múltiples sistemas y requieren coordinación fina. Su principal cuidado es evitar que ejecute operaciones críticas sin un segundo chequeo, así como establecer límites de tiempo y costo para prevenir desviaciones.

### Agentes con RAG más acción

En la modalidad RAG más acción, el agente combina la capacidad de búsqueda en fuentes específicas con la generación de texto. Primero localiza información en bases documentales o bases vectoriales y muestra la cita exacta, y luego, si corresponde, ejecuta una acción. Por ejemplo, ante la consulta “¿Cuál es la política de cambios?”, recupera el párrafo

### Ciclo de Orquestación Agentic

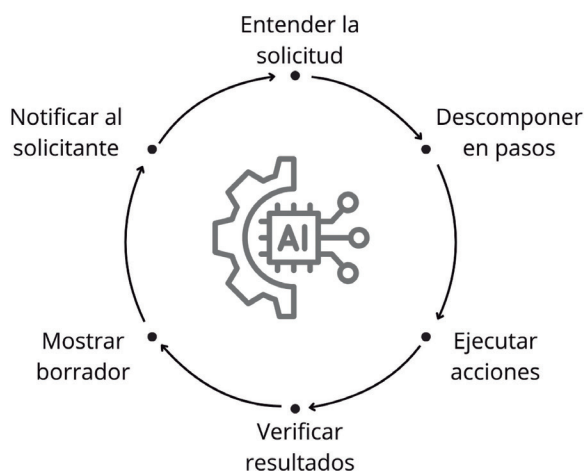
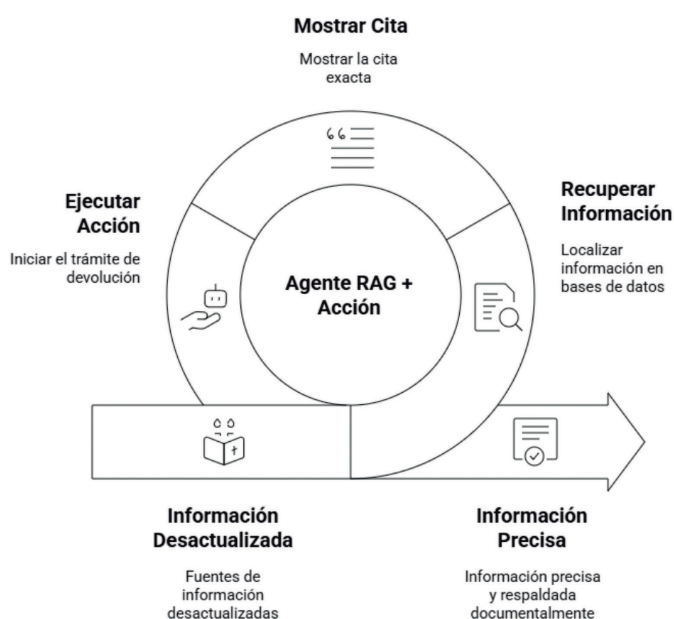


Figura 3. Ciclo de orquestación Agentic

oficial y, si se solicita, inicia el trámite de devolución. Esta arquitectura es ideal para contextos donde las reglas y procedimientos cambian con frecuencia, ya que garantiza precisión y respaldo documental. Su debilidad radica en depender de la frescura y calidad de las fuentes: si están desactualizadas, el resultado será erróneo.

### Agentes RAG + Acción para Información Precisa



**Ideal para contextos donde las reglas y procedimientos cambian con frecuencia**

Figura 4. Agentes RAG + Acción para información precisa

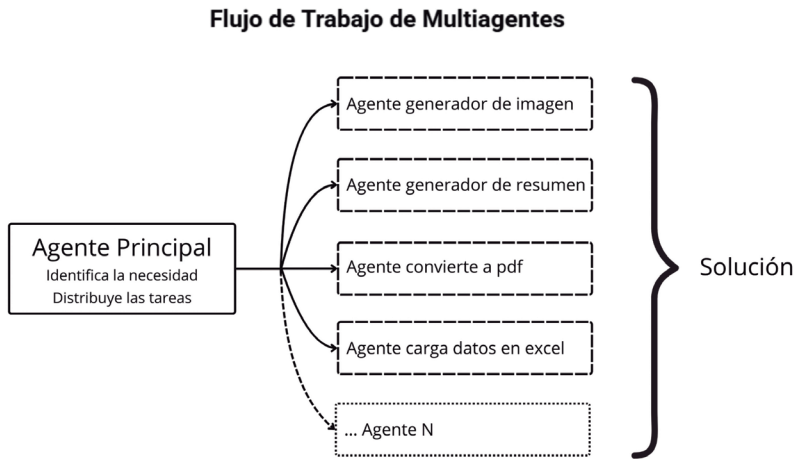


Figura 5. Flujo de trabajo de multiagentes

### Multiagentes (swarm/graph agents)

Aquí no hay un único agente, sino un equipo de agentes virtuales en el que cada miembro cumple un rol especializado. Ejemplo, uno extrae datos de documentos .pdf, otro los resume, otro valida cifras y un último elabora un texto final. Un agente “principal” identifica la necesidad y distribuye las tareas al correspondiente agente especializado, asegurando la coherencia de la entrega. Esto permite resolver proyectos complejos, como la preparación de propuestas comerciales completas, de forma modular y escalable. La contracara es que la coordinación de múltiples agentes aumenta la latencia y el costo, por lo que conviene limitar el número de pasos y establecer mecanismos de corte si un subproceso entra en bucle.

**La coordinación  
de múltiples  
agentes aumenta  
la latencia y el  
costo**

### Cumplimiento priorizado (*compliance first*) con *guardrails* (*policy-driven*)

En entornos críticos regulados o con alta exposición legal, esta tipología se diseña para cumplir reglas estrictas desde el primer paso. Solo utiliza lenguaje y contenidos previamente aprobados, bloquea temas sensibles y exige aprobación humana antes de emitir comunicaciones críticas. Un uso común es la redacción de avisos de cambios de términos o condiciones, donde el agente completa variables en plantillas autorizadas y envía el borrador a revisión. La fortaleza de este enfoque es su robustez ante riesgos legales, aunque sacrifica flexibilidad, por lo que es fundamental definir rutas de excepción bien controladas.

### Proceso de Cumplimiento-Primero o priorizado

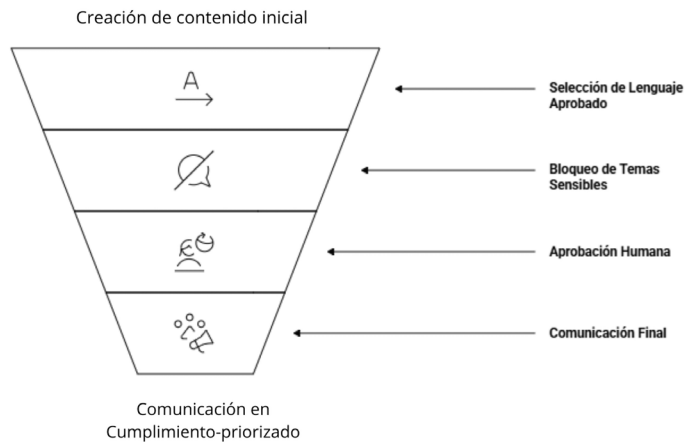


Figura 6. Proceso de cumplimiento primero o priorizado

## Herramientas para crear y desplegar agentes de IA

No todos los agentes de IA tienen las mismas capacidades. Según lo que esperamos que hagan y el nivel de personalización que busquemos, pueden agruparse en tres categorías: solo conversacionales, con automatización de tareas y con acceso a conocimiento.

Cada tipo puede implementarse con plataformas low-code —más rápidas y accesibles— o con enfoques programáticos a través de Python u otros lenguajes, que ofrecen mayor flexibilidad a cambio de más trabajo técnico. En general, *low-code* requiere un nivel técnico bajo, mientras que integrar API, personalizar la lógica o desplegar en entornos propios eleva el nivel a intermedio o alto.

**En general, *low-code* requiere un nivel técnico bajo, mientras que integrar API, personalizar la lógica o desplegar en entornos propios eleva el nivel a intermedio o alto**

## Agentes solo conversacionales (configurados con un *prompt*)

Son la versión más simple: un asistente que responde preguntas y mantiene un diálogo siguiendo un objetivo definido en un *prompt* inicial (que puede ser simple o un conjunto avanzado de instrucciones). No están orientados a ejecutar tareas externas ni a acceder a datos fuera de lo que el modelo ya conoce, aunque en algunos casos pueden tener acceso controlado a internet para búsquedas.

Son ideales para prototipos rápidos, asistentes informativos o interacción básica con clientes o empleados.

Opciones *low-code*:

- » Microsoft Copilot Studio: interfaz visual para definir personalidad, alcance y flujos de conversación, integrable en Teams o web, permitiendo elegir entre distintos modelos, incluso GPT5, según las necesidades de precisión y contexto.
- » Google Dialogflow CX: modelado de diálogos con reconocimiento de intención y rutas personalizadas.
- » Otras plataformas destacadas: IBM watsonx Assistant, Tidio, Landbot, Botsify, ManyChat.

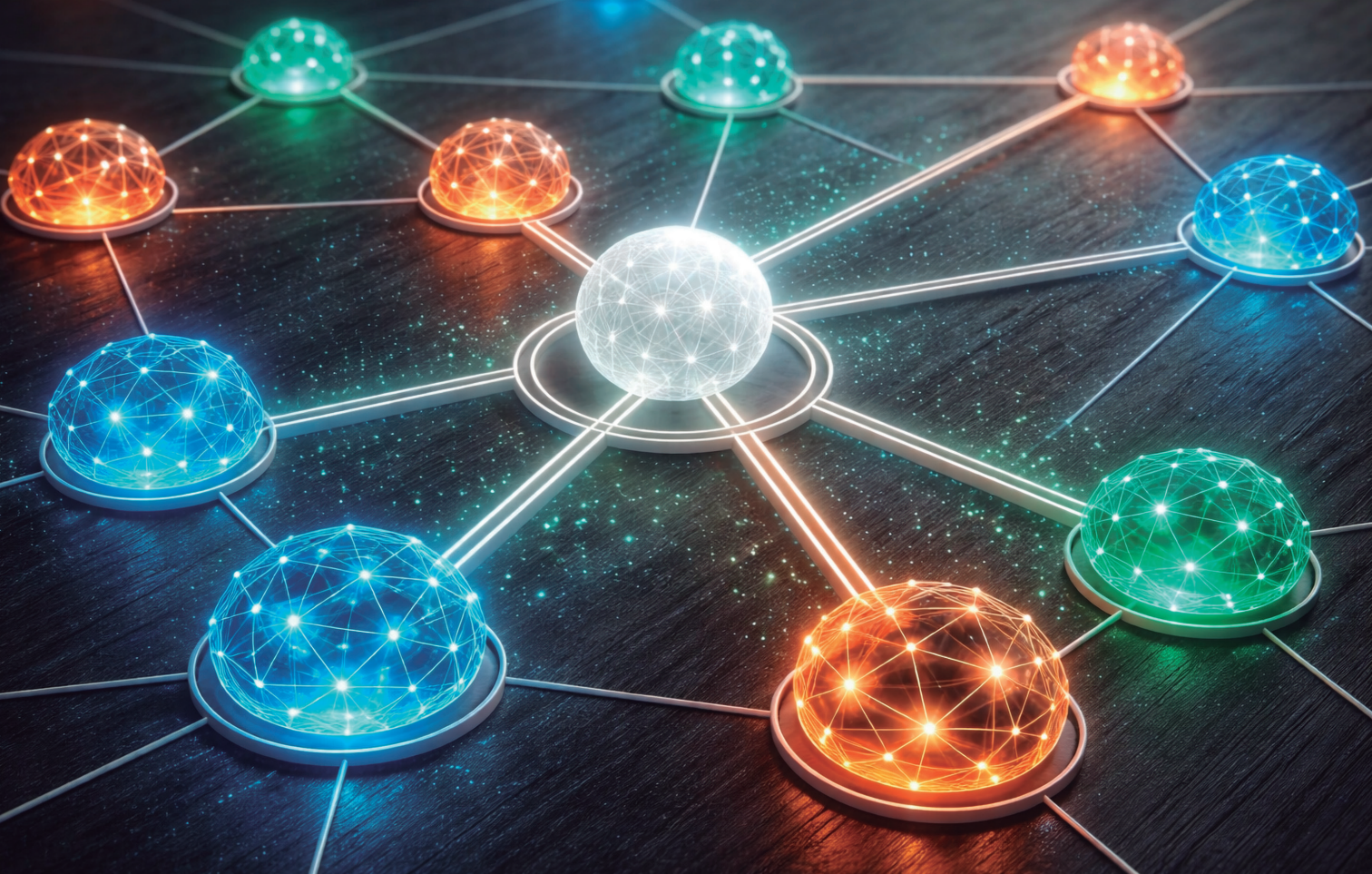
Opciones con código: aquí el desarrollador tiene control total sobre la lógica conversacional y la forma en que el agente gestiona el contexto,

memoria y decisiones. Esto requiere conocimientos intermedios de programación, manejo de API y buenas prácticas en serialización/deserialización de datos.

**El desarrollador tiene control total sobre la lógica conversacional y la forma en que el agente gestiona el contexto, memoria y decisiones**

- » LangChain o LlamaIndex permiten construir flujos conversacionales dinámicos, administrar memoria a largo plazo y combinar el modelo con otras fuentes de datos o herramientas.
- » API de modelos (GPT5, Claude, etc.): integración directa en aplicaciones propias, controlando de forma explícita los *prompts*, el formateo de entradas/salidas y la gestión de estado entre turnos de conversación.
- » Otras librerías destacadas: Botpress (híbrida), Rasa, ChatterBot, DeepPavlov. Algunas de estas librerías ofrecen soporte para módulos de NLU perso-





nalizados y pueden desplegarse en servidores propios para mayor control sobre privacidad y rendimiento.

### Agentes que automatizan tareas (con RPA)

Estos agentes combinan la conversación con la capacidad de ejecutar acciones en sistemas internos o externos. Pueden crear registros, enviar correos, actualizar bases de datos o disparar procesos, integrándose con herramientas de RPA o motores de flujos de trabajo.

En este tipo de implementación, la complejidad técnica depende de la cantidad de sistemas a integrar y el grado de personalización en la automatización.

## La complejidad técnica depende de la cantidad de sistemas a integrar y el grado de personalización en la automatización

Opciones *low-code*:

- » Power Automate (Microsoft): conecta y potencia el agente con múltiples sistemas para ejecutar acciones según instrucciones del usuario, con cientos de conectores listos para usar que llevan a una gran utilidad de agente que “hace tareas”.

- » n8n: motor visual que conecta API y servicios para automatizar procesos repetitivos.
- » Otras plataformas destacadas: Zapier, Make (híbrida), Workato, Tray.io, Integreatly.

Opciones con código: aquí el control es mayor y se pueden crear automatizaciones altamente personalizadas, aunque implica un nivel técnico más alto.

- » SDK y *scripts* en Python o Node.js para ejecución de acciones personalizadas sobre API, manejo de autenticaciones y control de errores muy avanzado y personalizable.
- » AutoGen, un framework que permite coordinar agentes que planifican y completan secuencias de pasos (*plan-act-check*) de manera autónoma.



- » Otras librerías destacadas: Robot Framework, Apache Airflow, Prefect, Luigi, útiles para tareas de orquestación y programación compleja de flujos.

### Agentes con conocimiento (RAG y consultas a bases de datos)

Incorporan acceso a información específica para dar respuestas actualizadas y con evidencia. El método más común es RAG, donde el agente busca en documentos o bases vectoriales y luego construye la respuesta. También pueden conectarse directamente a bases de datos estructuradas para ejecutar consultas y presentar resultados procesados.

**Incorporan acceso a información específica para dar respuestas actualizadas y con evidencia**

Suele requerir una integración más cuidadosa, ya que la calidad de la respuesta depende de la frescura y relevancia de las fuentes.

### Opciones *low-code*:

- » Azure AI Search + Copilot Studio: para crear un RAG corporativo con búsqueda en datos internos y generación de respuestas con cita textual.
- » Pinecone o Weaviate enlazados a flujos en n8n o Zapier, para búsquedas rápidas en bases vectoriales.
- » Otras plataformas destacadas: Algolia, Elastic App Search, Coveo, Kendra (AWS), Meilisearch.

Opciones con código: aquí el programador puede definir cómo se indexa la información, cómo se consulta y cómo se presenta la respuesta final:

- » Haystack o LlamaIndex permiten construir *pipelines* RAG personalizados con control total sobre indexación, búsqueda y posprocesamiento de resultados.
- » Integración directa con bases SQL o NoSQL usando Python: para ejecución de consultas en tiempo real y transformación de datos antes de su entrega al usuario.
- » Otras librerías destacadas: FAISS, Milvus, Chroma, Vespa (híbrida), enfocadas en búsquedas vectoriales de alto rendimiento.

### Capas transversales para cualquier tipo de agente

Independientemente del tipo de agente, es esencial definir una capa de seguridad que garantice calidad y control. Esto incluye HITL, para derivar casos dudosos o sensibles a revisión humana, y *guardrails*, para restringir el comportamiento y plantillas aprobadas para comunicaciones críticas. En entornos regulados, la revisión humana no es opcional, es un requisito.

**En entornos regulados, la revisión humana no es opcional, es un requisito**

### Orquestación y escalabilidad

La orquestación es lo que permite que un agente pase de un simple flujo lineal a un sistema que planifica, ejecuta y verifica cada paso (*agentic*). Para tareas complejas, esta capa puede evolucionar a un esquema multiagente, donde varios agentes especializados se coordinan bajo un orquestador. Aunque esta complejidad suele reservarse para fases avanzadas, conviene pensar desde el inicio en cómo se integrarán nuevas capacidades.

## Infraestructura y seguridad: de la prueba al entorno productivo

Llevar un agente de IA desde un prototipo funcional hasta un sistema confiable en un entorno corporativo o público exige más que afinar un prompt o añadir conectores. Supone tomar decisiones estratégicas sobre dónde se ejecutará, cómo se protegerán los datos, qué mecanismos evitarán abusos y cómo se supervisará su desempeño. Esta capa es transversal a cualquier tipo de agente y define si el proyecto será sostenible y seguro en el tiempo.

### Arquitectura y despliegue

La ubicación del agente es una de las primeras decisiones clave. Las nubes públicas como Azure, AWS o Google Cloud ofrecen escalabilidad inmediata y alta disponibilidad, facilitando pruebas y despliegues rápidos. En cambio, un entorno híbrido resulta útil cuando ciertos datos o procesos deben permanecer *on-premise* por exigencias regulatorias o de soberanía. La instalación local otorga control total, pero también implica mayor complejidad y costos de mantenimiento.

Sea cual sea la opción, conviene separar entornos de desarrollo, pruebas y producción, implementar control de cambios y disponer de un plan de *rollback*. En entornos con datos sensibles, el uso de identidades administradas y cifrado en tránsito y en reposo no es opcional, sino obligatorio.

### Seguridad y control de acceso

La seguridad de un agente de IA no se limita a proteger el servidor donde corre; también implica definir con qué puede interactuar y bajo qué condiciones. Esto requiere aplicar control de identidad y roles (RBAC) para que el agente acceda solo a la información y herramientas necesarias, gestionar secretos en cofres

como Azure Key Vault o AWS Secrets Manager, y establecer filtros de entrada y salida que prevengan *prompt injection*, fuga de datos o respuestas inapropiadas.

En contextos críticos, integrar HITL para validar acciones antes de ejecutarlas es una práctica indispensable. Además, los *guardrails* permiten restringir el comportamiento del agente, asegurando que siga las políticas definidas.

### Observabilidad y trazabilidad

La trazabilidad es el equivalente a la caja negra de un avión: todo lo que el agente haga debe quedar registrado. Esto incluye entradas, salidas, contexto y acciones ejecutadas. A

La ubicación del agente es una de las primeras decisiones clave



nivel de métricas, es esencial medir tasa de éxito, derivaciones a humano, latencia, costos por transacción y errores.

## Es esencial medir tasa de éxito, derivaciones a humano, latencia, costos por transacción y errores

Si el agente se comporta de forma anómala o se sale de patrón, las alertas deben activarse de inmediato. Complementariamente, las auditorías periódicas permiten verificar que el agente sigue las reglas establecidas y que no han surgido comportamientos no previstos.

### Pruebas y mejora continua

Antes de que un agente llegue a producción, debe superar un conjunto de pruebas que cubra escenarios esperados (*happy path*), casos límite y situaciones fuera de dominio. Las pruebas adversariales ayudan a identificar vulnerabilidades como *prompt injection* o manipulación de salidas.

Una vez en producción, el trabajo no termina: es fundamental mantener un ciclo de mejora continua, recon-

figurando o rentrenando el agente cuando cambian las políticas, se actualiza la base de conocimiento o se detectan nuevos riesgos.

### Conclusión y próximos pasos

Este primer capítulo de la trilogía sienta las bases para comprender y orientar la construcción de agentes de IA, con foco en tipologías, herramientas y criterios de despliegue seguro. En la próxima entrega abordaremos el otro 50% del desafío: gobernanza, métricas, normativa y ética aplicada, claves para que la innovación no comprometa la confianza ni el cumplimiento regulatorio. La recomendación es clara: empezá hoy, aunque sea con un prototipo simple; medí, ajustá y evolucioná. El valor real surge del aprendizaje iterativo.



# Matrícula: nuevos valores de 2026

Nuevos valores y medios de pago disponibles para la matrícula de 2026.

En virtud de lo establecido por la Resolución COPITEC n.º 13/2025, los valores para la matrícula o registro anual 2026, bonificados con descuento hasta el 31 de enero de 2026, son los que figuran en la tabla 1.

Categoría	Importe
Ingenieros	\$ 186.000
Licenciados, analistas y técnicos superiores	\$ 144.000
Técnicos	\$ 97.000
Instaladores de radiocomunicaciones, telefónicos, habilitados y controladores fiscales	\$ 97.000

Tabla 1.

Vale aclarar que es condición sine qua non, para la presentación de certificados de encomienda del 2026, tener paga la matrícula de dicho período.

**Es condición sine qua non, para la presentación de certificados de encomienda del 2026, tener paga la matrícula de dicho período**

La matrícula de 2026 ya se puede abonar a través de diferentes medios, tanto de forma virtual como de manera presencial.

## Pago online desde la web del COPITEC

La matrícula puede abonarse directamente desde: <https://ck.copitec.org.ar/>

Medios de pago disponibles: tarjeta de crédito, tarjeta de débito, transferencia, código QR, otros medios habilitados en la plataforma.

**Puede abonarse directamente desde:**

<https://ck.copitec.org.ar/>

Cómo realizar el pago:

- » Ingresar al enlace: <https://ck.copitec.org.ar/>
- » Indicar número de matrícula o DNI (sin puntos)
- » Seguir las instrucciones del sistema

Si surge algún inconveniente (problemas de acceso, pago rechazado, datos no encontrados, etc.), contactarse a [matricula@copitec.org.ar](mailto:matricula@copitec.org.ar).

**Si surge algún inconveniente, contactarse a [matricula@copitec.org.ar](mailto:matricula@copitec.org.ar).**



### Pago presencial en COPITEC

La matrícula puede abonarse de forma presencial en la sede del COPITEC (Perú 562) entre las 10 y las 16 h.

Pago habilitado con tarjeta de crédito, tarjeta de débito y código QR.

### Pago por transferencia bancaria

Quien lo desee, puede abonar la matrícula a través de transferencia bancaria, y luego enviar el comprobante de pago.

Datos para transferencia:

- » Banco Galicia, sucursal 4
- » CBU: 0070004720000018042573
- » Alias: RADIO.PC.TV
- » CUIT del COPITEC: 30-58238084-4

Enviar el comprobante de pago, indicando número de matrícula, a [transferencias@copitec.org.ar](mailto:transferencias@copitec.org.ar).

### Pago por depósito bancario

La opción de depósito bancario también está disponible:

- » Banco Galicia, sucursal 4
- » Cuenta N°: 0018042-5 004-7

Enviar el comprobante, indicando número de matrícula, a [transferencias@copitec.org.ar](mailto:transferencias@copitec.org.ar). ▶



**CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
DE TELECOMUNICACIONES, ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN**

Bioingeniería, informática, higiene y seguridad,  
y otras actividades afines.

# El auge de la automatización y las palabras del presidente

El control automático y la automatización expanden su alcance en las industrias, que no son una excepción al predominio que ya tienen ganados, y de forma creciente, en la vida cotidiana de las personas. Sobre esto charlamos con Hernán López, el presidente de la Asociación Argentina de Control Automático (AADECA).

16



**Hernán López**  
Presidente AADECA  
aadeca.org

Hernán López es ingeniero en Electrónica, egresado de la UTN Regional Buenos Aires, y cuenta con una maestría en Administración de la Universidad de Palermo. Con más de veinte años de trabajo en automatización industrial, suma experiencias tanto en los sectores técnicos como comerciales y actualmente se desempeña como gerente de marketing en P4C, representante de Phoenix Contact en el país. Tecnología, electrónica e informática son cuestiones cotidianas para él, que conoce la realidad de las industrias del país tanto como los avances que llegan desde el exterior.

—**¡Viajaste mucho!**

—Tuve la suerte de viajar por toda la Argentina y visitar muchas industrias de diversos segmentos (petroleras, mineras, industrias manufactureras) y conocer un montón de gente. Gracias a eso creo que logré com-

*prender las necesidades del mercado y dedicarme a eso. Trabajé mucho tiempo vinculado a los canales de comercialización, a la venta de materiales eléctricos, a los integradores de sistemas de automatización y a los fabricantes de tableros.*

Desde hace un año, Hernán es el presidente de AADECA, la Asociación Argentina de Control Automático.

—**¿Por qué te acercaste a AADECA y cómo llegaste a ser su presidente?**

—Me acerqué hace algunos años por curiosidad. Y formé parte de la Comisión Directiva anterior a esta, la del periodo 2022 a 2024. Me gustó lo que hicimos: integración de los jóvenes, difusión de nuevas tecnologías de aplicación en la industria. Hace un año tuve la oportunidad y tomé la presidencia con la idea de darle continuidad a ese trabajo.

—¿Cuáles son los principales objetivos de AADECA ahora?

—AADECA es esta bisagra entre los mundos laboral, profesional, industrial y académico, y yo disfruto mucho de eso. Creo que ahora está en un buen momento y que tenemos muchas oportunidades para seguir creciendo. Por ejemplo, con respecto a los jóvenes, se creó la Comisión de Jóvenes para que participen y aporten sus puntos de vista. Creo que estamos haciendo un buen trabajo en ese sentido, dándoles el lugar para trabajar en conjunto y generar espacios de discusión con gente con experiencia, y eso es muy rico, son discusiones muy interesantes las que surgen.

**AADECA es esta bisagra entre los mundos laboral, profesional, industrial y académico, y yo disfruto mucho de eso**

—¿Cómo evaluás la expansión que, en los últimos años, han tenido las tecnologías del control y automatización?

—Hay cierta convergencia de muchas tecnologías en piezas de hardware que resuelven muchas cosas simultáneamente. Cada vez las soluciones son más globales: ya no es solamente el control, la automatización o el PLC, sino que se interrelacionan cuestiones de la electrónica, la electricidad, la informática. Cada vez más los dispositivos de gestión de energía, de control de motores, incluyen funciones de control internamente, por ejemplo.

**Ya no es solamente el control, la automatización o el PLC, sino que se interrelacionan cuestiones de la electrónica, la electricidad, la informática.**

—¿Cómo responde AADECA a este nuevo panorama?

—En este momento, se habla mucho de la revolución industrial, se habla mucho de las tecnologías, y en las industrias hay muchas oportunidades, pero tienen que saber cómo y para qué implementar estas nuevas tecnologías. Necesitan tener personal capacitado, necesitan estar cerca de espacios donde su personal técnico, de mantenimiento, de ingeniería pueda mantenerse actualizado, y AADECA trabaja en eso a través de la difusión, de los cursos, de los congresos.

—¿Qué tecnologías hay que conocer ahora?

—Hay muchas tecnologías nuevas que facilitan la digitalización, pero hay una que es especialmente importante: la infraestructura de comunicación industrial robusta, y sobre todo cibersegura.

**Hay una que es especialmente importante: la infraestructura de comunicación industrial robusta, y sobre todo cibersegura.**

### —¿El desafío es estar actualizado?

—Hay mucho valor para explotar en el ambiente empresarial e industrial vinculado con la digitalización, y no me refiero al transductor de la magnitud física a señal eléctrica, sino a todo el proceso: la conversión de datos en información que ayude en la toma de decisiones. Creo que lo más importante es responder no solamente cómo sino para qué implementar alguna tecnología, y en esta línea, entender que no se trata solamente de conocer alguna tecnología, sino de tener una mirada global: entender los procesos. Un buen programador, por ejemplo de PLC, es la persona que entiende del proceso, no es solamente conocer un lenguaje nuevo. Y en AADECA tenemos eso: empresas, profesores y socios que entienden del proceso, que entienden de las aplicaciones.

**No se trata solamente de conocer alguna tecnología, sino de tener una mirada global: entender los procesos**

### —Inicia 2026 con una año de presidencia ya transcurrido y otro que recién comienza, ¿cómo te encuentra ahora esta posición?

—Hay proyectos específicos en los que estamos trabajando con la Comisión Directiva que tienen como objetivo brindarles más valor a las empresas y a los individuos. Hay proyectos en los que estamos trabajando y que todavía no hemos lanzado y que van a ser muy interesantes. Me gustaría verlos desarrollados y con éxito antes del final de mi presidencia. Para mí, lo fundamental es mantener el legado que recibió esta Comisión: que AADECA sea un puente entre la universidad, las industrias, las tecnologías, y un espacio de encuentro colaborativo que debata y aprenda a la vez.





# Capítulo 3:

## Red de área local inalámbrica en IoT - GPRS

**Marcelo Romero**

Ingeniero en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional

### Introducción a GPRS y GSM

GPRS, 'servicio general de paquetes vía radio', por sus siglas en inglés, es una tecnología de comunicación móvil que permite la transmisión de datos en redes GSM ('sistema global para la comunicación móvil') mediante el uso de paquetes de datos. Introducido a fines de los años 90, GPRS revolucionó las comunicaciones móviles por permitir que los dispositivos móviles enviaran y recibieran datos, facilitando así el acceso a Internet, el envío de correos electrónicos y el uso de mensajería multimedia. Este capítulo analiza las características de GPRS, su funcionamiento, su papel en la telefonía móvil, sus aplicaciones en el IoT ('Internet de las cosas') y las limitaciones frente a tecnologías móviles más avanzadas.

### Historia de la telefonía celular y el desarrollo de GSM y CDMA

La historia de la telefonía celular comienza en los años 80 con la tecnología 1G, que permitía solo llamadas de voz mediante tecnología analógica. Con el desarrollo de GSM en Europa y de CDMA ('acceso múltiple por división de código') en Estados Unidos, surgieron redes digitales de segunda generación (2G) que mejoraron la calidad de las llamadas y optimizaron el uso de frecuencias. GPRS, una extensión de las redes GSM,

permitió la transmisión de datos en redes móviles mediante el uso de conmutación de paquetes, un enfoque innovador en comparación con la conmutación de circuitos de GSM. Este cambio facilitó la transferencia de datos, lo que impulsó nuevas aplicaciones móviles.

**GPRS, una extensión de las redes GSM, permitió la transmisión de datos en redes móviles mediante el uso de conmutación de paquetes**

### Principios de funcionamiento de GPRS

GPRS se basa en la conmutación de paquetes, lo cual significa que los datos se envían y reciben en pequeños paquetes en lugar de establecer una conexión continua, como en la conmutación de circuitos de GSM. GPRS se organiza en dos componentes clave:

- » SGSN ('nodo de soporte de servicio GPRS'): gestiona el acceso a los datos móviles y rastrea la ubicación de los dispositivos.
- » GGSN ('nodo de soporte de GPRS de puerta de enlace'): conecta la red móvil a otras redes de datos, como Internet, permitiendo que los datos fluyan desde el dispositivo móvil hacia destinos en la red, y viceversa.

Estos nodos permiten que los usuarios de GPRS se conecten a Internet y otros servicios de datos de manera eficiente.

### Características técnicas de GPRS

Las velocidades de GPRS varían de 56 a 114 kbps en condiciones ideales, aunque pueden ser menores en la práctica. GPRS emplea multiplexación TDMA (TDMA: Time Division Multiple Access, 'acceso múltiple por división de tiempo'), lo cual permite que múltiples usuarios compartan los mismos recursos de red, optimizando el uso del espectro. Los dispositivos GPRS se clasifican en distintas clases multislots, que determinan la cantidad de intervalos de tiempo simultáneos que pueden utilizar para la transmisión de datos. Esto permite un uso flexible y eficiente de los recursos de red en función de las necesidades del usuario.

**Los dispositivos GPRS se clasifican en distintas clases multislots, que determinan la cantidad de intervalos de tiempo simultáneos**

### Ventajas y desventajas de GPRS

Ventajas:

- » Conexión continua: permite mantener una conexión constante sin necesidad de reconectar.
- » Facturación basada en datos: la facturación se basa en la cantidad de datos transmitidos en lugar del tiempo de conexión.
- » Compatibilidad con GSM: GPRS es retrocompatible con redes GSM, lo que permite una implementación sencilla.

Desventajas:

- » Velocidad limitada: GPRS es significativamente más lento que las tecnologías móviles posteriores, como 3G y 4G.
- » Alta latencia: la latencia puede afectar aplicaciones en tiempo real, como videollamadas o juegos en línea.
- » Dependencia de infraestructura GSM: GPRS depende de la infraestructura GSM, lo que puede limitar su desempeño en redes de baja calidad o con alta congestión.

### Usos y aplicaciones de GPRS

GPRS ha permitido una variedad de aplicaciones, tales como:

- » Navegación web y mensajería instantánea: proporciona conectividad para funciones de correo electrónico, navegación y mensajería.
- » Aplicaciones de IoT: GPRS se utiliza para el monitoreo remoto de sensores en sectores industriales; en la agricultura, para monitoreo ambiental, y en la logística, para rastreo de flotas.
- » Banca móvil: permite realizar transacciones bancarias de manera segura desde dispositivos móviles, una función clave en áreas sin acceso a infraestructura bancaria tradicional.
- » Sistemas de rastreo: los módems GPRS se emplean en dispositivos de rastreo de vehículos y

personas, enviando información de ubicación en tiempo real.

### **Módems GPRS y su funcionamiento**

Los módems GPRS son dispositivos que permiten la conexión a redes móviles mediante GPRS y facilitan la comunicación en aplicaciones como el monitoreo remoto, las transacciones en puntos de venta y el rastreo de activos. Estos módems transmiten datos en paquetes, lo que optimiza el uso del ancho de banda y permite su integración en redes GSM. Su funcionamiento se basa en la configuración adecuada de APN ('nombres de puntos de acceso') para acceder a redes de datos, permitiendo una conectividad estable y continua.

### **Conclusión**

GPRS representó un hito en la evolución de las telecomunicaciones móviles, ya que hizo posible la transmisión de datos en redes GSM. A pesar de sus limitaciones en términos de velocidad y capacidad, GPRS sigue siendo relevante en aplicaciones de IoT y en áreas con infraestructura limitada. Esta tecnología marcó un paso importante hacia la conectividad móvil global y abrió el camino para las tecnologías móviles de tercera y cuarta generación. ▶

**GPRS sigue siendo  
relevante en aplicaciones  
de IoT y en áreas con  
infraestructura limitada**

# Banda ancha en AM

*Dedicado a la memoria del Maestro de Ingeniería Ing. Ángel "Tigre" Comelli.*

**Homero Corbo (FILP)**

Ingeniero en Telecomunicaciones  
MN.º 1698

## Introducción

Este artículo trata de llenar un vacío en la literatura técnica: cuando se refiere a ensanchar la banda de emisión (**broadband**) en AM, comúnmente se explican algunas técnicas imperantes de manera general, pero sin referenciar taxativamente valores máximos de ROE que debemos tener dentro de la banda de emisión para lograr altos índices de modulación, ni cómo determinamos el factor de calidad (Q) deseado.

Por tanto, se ha pretendido fundamentar cuáles son las características técnicas de emisión en AM que deberían ser consideradas para un sistema de transmisión en banda ancha en función de la impedancia de antena y acoplador de antena, sin incluir la longitud eléctrica del coaxil, que también interviene en la adaptación de impedancias. Además, se debería medir longitud de onda para que la impedancia de entrada al acoplador de antena se transfiera en bornes de salida del transmisor, lo

que corresponde a un giro completo en el diagrama de Smith. En los casos reales y para adaptaciones de impedancias de acopladores, lo aconsejable es implementar una red rotadora de fase previa al acoplador, para ajustar el cambio de fase generando una longitud diferente de media longitud de onda del coaxil.

El análisis fue realizado con respecto a los siguientes parámetros:

- » Frecuencia. Se ha analizado para cinco frecuencias de operación: en el extremo inferior y superior de banda en 550 (peor caso) y 1.650 kHz, centrada en la media geométrica de banda en 1 MHz, media geométrica de 750 kHz (entre 550 kHz y 1 MHz) y en la media de la subbanda superior (1.300 kHz).
- » Antena. Se analizó para tres alturas estándares de mástiles:  $\lambda/4$  (90°);  $0,52 \lambda$  (190°) y  $5/8 \lambda$  (225°).

- » Acoplador de antena. Se analizó para dos tipos genéricos de redes adaptadoras de impedancias con ancho de banda angosto con red tipo 'L' (Q fijo) y de banda ancha con redes tipo 'T' o ' $\pi$ ' seccionados en cuartos de onda (Q variable).

**Hay una variable predominante en el ensanchamiento de banda de emisión y es el factor de calidad (Q) del adaptador de impedancia**

Es importante destacar que hay una variable predominante en el ensanchamiento de banda de emisión y es

el factor de calidad ( $Q$ ) del adaptador de impedancia, íntimamente ligado con la relación de transformación de resistencias entre antena ( $R_{\text{ant}}$ ) y la impedancia característica del coaxil ( $Z_0 = 50 \Omega$ ): cuanto mayor sea esta relación, más alto será el factor de calidad del adaptador ( $Q = R_{\text{ant}}/R_{\text{coaxil}}$ ) y, por ende, un ancho de banda más angosto, a menos que se utilicen técnicas especiales para diseñar el adaptador como el de “secciones de cuarto de onda”, ampliamente tratado en la literatura afín.

Del análisis técnico realizado para obtener el ancho de banda mínimo de emisión en AM y lograr altos niveles de modulación (145%), surgieron consideraciones respecto a los criterios de selección de altura y diámetro del mástil en función de la frecuencia de operación.

Como es común en la práctica ingenieril, los inconvenientes técnicos se resuelven con compensaciones circuitales, y este caso no escapa a las generales de la ley: ensanchar la banda con un diseño adecuado del acoplador de impedancias. Al respecto, existen varios procedimientos sobre técnicas para ensanchar la banda, pero muy pocos han arrojado resultados prácticos por el momento. Entre ellos, se destaca el de secciones de cuarto de onda.

### Observaciones

Vale destacar lo siguiente:

- » El proyectista se enfrenta a un problema y es determinar con qué factor de calidad resuelve el ancho de banda.
- » Al respecto, existe una posibilidad de hacerlo con una red adaptadora tipo ‘L’ de L-C, pero genera varios problemas: a) no es de banda ancha; b) el ancho de banda es fijo, pues el factor de calidad está relacionado con las impedancias que se deben adaptar y seguramente sea diferente del pretendido.

### Introducción teórica

Hendrik Wade Bode y Robert Fano publicaron en 1945 y 1950, respectivamente, trabajos sobre los límites teóricos de anchos de bandas que pueden lograrse en la adaptación de impedancias. Bode lo analizó para la adaptación de impedancias resistivas, y en los ‘50 fue retomado por Fano, quien extendió el trabajo para cargas reactivas (capacitivas o inductivas).

Fano desarrolló un grupo de ecuaciones integrales para diferentes cargas RLC y restricciones del producto (ganancia/ancho de banda) para redes sin pérdidas adaptadoras de impedancias. El criterio de Fano aún continúa siendo válido para extender el ancho de banda de circuitos de banda angosta. El resultado más relevante es la posibilidad de fijar va-

lores de parámetros circuitales para ensanchar bandas, y con características angostas de cargas como una antena.

**El resultado más relevante es la posibilidad de fijar valores de parámetros circuitales para ensanchar bandas, y con características angostas de cargas como una antena.**

El límite de Fano-Bode es de gran utilidad, pues permite comparar el comportamiento de adaptación de impedancias con respecto a su ancho de banda y el límite máximo posible. Los resultados obtenidos sirven para sintetizar acopladores de impedancia, ensanchadores de banda, pues es de suma importancia conocer el factor de calidad necesario para lograrlo.



Los límites de Fano son los siguientes, para cuatro tipos de cargas complejas:

- » Carga RC paralelo:  $(\Delta B/w_o) \log_e (1/\rho_{av}) \leq \pi/[w_o (RC)]$
- » Carga RL paralelo:  $(\Delta B/w_o) \log_e (1/\rho_{av}) \leq \pi (w_o L)/R$
- » Carga RL serie:  $(\Delta B/w_o) \log_e (1/\rho_{av}) \leq \pi R/(w_o L)$
- » Carga RC serie:  $(\Delta B/w_o) \log_e (1/\rho_{av}) \leq \pi R (w_o C)$

$\Delta B$  es el ancho de banda de 20 kHz centrado en la portadora ( $\pm 10$  kHz). En  $w_o = 2\pi f_o$  (pulsación a la frecuencia de portadora),  $f_o$  es la frecuencia de portadora.

$\rho_{av}$  es el coeficiente de reflexión promedio dentro de la banda  $\Delta B$ , vale entre cero y uno, igual a  $\rho_{av} = (\text{Pot}_{\text{reflejada}}/\text{Pot}_{\text{directa}})^{1/2} = [(ROE_{av} - 1)/(ROE_{av} + 1)]$ .

De estas limitaciones de Fano, solo nos interesan las dos últimas, y para nuestro caso de mástiles irradiantes de AM con impedancias de cargas series RL y RC.

Para simplificar los límites de Fano, se pueden describir para nuestro caso serie, como sigue:

$$(\Delta B/w_o) \log_e (1/\rho_{av}) \leq \pi R / |X|$$

dónde  $|X|$  es el módulo de la reactancia de la antena (inductiva o capacitiva).

Esta ecuación puede ser formulada en función del factor de calidad:

$$(\Delta B/w_o) \log_e (1/\rho_{av}) \leq \pi/Q$$

Despejando  $\Delta B$ , obtenemos:

$$\Delta B \leq 2\pi^2 f_o \log_e (1/\rho_{av})/Q$$

Con esta ecuación general de Fano determinaremos el factor de calidad obtenido en función de tres variables: frecuencia de operación, coeficiente de reflexión y ancho de banda pretendido.

De esta última ecuación se desprenden las siguientes conclusiones principales:

- » A igualdad de  $\rho_{av}$ , para mayor frecuencia de operación obtendremos mayor ancho de banda  $\Delta B$  (y viceversa).
- » A menor  $\rho_{av}$  (menor ROE), obtendremos mayor ancho de banda máximo  $\Delta B$  (y viceversa).
- » A menor factor de calidad del acoplador, obtendremos mayor ancho de banda máximo  $\Delta B$  (y viceversa).

#### Modulación

Las nuevas generaciones de transmisores de AM proveen gran capacidad de modulación, de hasta 145%, y redundan en las siguientes características de emisión:

- » Cobertura superior, por emitir con mayor potencia pico

modulada, pues depende cuadráticamente del índice de modulación ( $m$ ) según

$$P_{\text{pico}} = (1 + m)^2 \text{ ROE } P_{\text{portadora}}$$

- » Mayor densidad de audio y presencia espectral de la señal recibida.

#### ROE máximo en banda

Las emisoras en onda media (AM) están asignadas espectralmente cada 20 kHz, por tanto cada una emitirá como máximo dentro de un ancho de banda  $\Delta B$  de 20 kHz ( $\pm 10$  kHz) centrado en su portadora.

Por desadaptación del sistema de acoplamiento con el apartamiento en frecuencia respecto de portadora, el ROE máximo pretendido se debería considerar en los extremos de banda e implementar para que el sistema aéreo completo (coaxil, adaptador y antena) sea del tipo "banda ancha", a fin de lograr altos índices de modulación de hasta 145%.

**El ROE máximo pretendido se debería considerar en los extremos de banda**

El ROE determinado estará sobre la salida del transmisor y no en la entrada del acoplador, pues la longitud

del coaxil interviene en el diseño de un acoplador de banda ensanchada.

Si bien escapa al propósito de este artículo, un acoplador de antena de banda ensanchada consta de tres etapas diferenciadas considerado desde la antena hacia el transmisor: acoplador de impedancia de antena, red ecualizadora de bandas laterales y rotador de fase para compensar la longitud del coaxil. Nótese que el ROE dentro de banda puede ser elevado en algunos de sus puntos intermedios, pero su ancho de banda de utilización estará fijado por el reflejado en bornes de salida del transmisor.

### Adaptadores de impedancias

Como se refirió con anterioridad, existen dos grandes grupos de adaptadores de impedancias: tipo L y tipos  $\Gamma$  o  $\pi$ . Los segundos son dos redes L puestas en serie (enfrentadas o contra espaldas) de modo que sus brazos conforman series o derivados.

Si bien escapa al propósito de este artículo, se hará una referencia sucinta de ambos tipos de redes.

En el tipo L, el factor de calidad del adaptador es fijo y depende de la relación entre las resistencias a adaptar según:

$$Q = [R_{\text{carga}}/R_{\text{entrada}} - 1]^{1/2}$$

Tipo  $\Gamma$  o  $\pi$  tiene un grado de libertad superior con respecto al factor de calidad deseado. Se aparta de las

ecuaciones ordinarias de diseño aplicando una técnica de banda ancha denominada "Adaptación de impedancias por secciones de cuarto de onda", donde se diseñan dos redes tipo L enfrentadas para conformar una T o  $\pi$ , y donde cada una se adapta a una resistencia virtual ( $R_v$ ) en su parte central, cuyo valor es igual a

$$R_v = (R_{\text{carga}} R_{\text{entrada}})^{1/2}$$

Una de las redes L se sintetiza con las ecuaciones ordinarias de factor de calidad fijo y la otra, para el factor de calidad deseado. Como la resistencia virtual es una media geométrica entre resistencias de carga y entrada al acoplador, su valor será más cercano al mayor de ellos; por tanto es práctica común diseñar la red L de menor relación de adaptación con los métodos analíticos convencionales de factor de calidad fijo e implementar la otra red L con el factor de calidad deseado y obtenido por el criterio de Fano. Los brazos centrales de ambas redes L luego se integrarán en un solo componente reactivo, conformando la red  $\Gamma$  o  $\pi$ , según el circuito de adaptación seleccionado previamente, que dependerá del tipo de carga compleja de antena (capacitiva o inductiva).

En este punto se genera una duda sobre cuál es la implicancia del componente reactivo de la antena, pues no aparece en las ecuaciones de adaptación de las diferentes redes L,  $\Gamma$  o  $\pi$ , por tanto:

- » El componente reactivo de antena será anulado a frecuencia de portadora con un componente reactivo de signo contrario según corresponda (serie o paralelo). Por tanto, adaptaremos resistencias puras en la frecuencia central.
- » El valor de este componente reactivo que anula la correspondiente de carga de antena en frecuencia central dependerá del corrimiento de frecuencias consideradas en sus bandas laterales inferior y superior; y deberá ser considerado en el diseño dentro de la banda de operación.

### Metodología del análisis

Se valió del criterio de Fano-Bode para determinar el ancho de banda ( $\Delta B$ ) del sistema irradiante completo, en función del factor de calidad del adaptador de impedancia (angosto o ancho) y del coeficiente de reflexión promedio en banda ( $\rho_{av}$ ) pretendido en bornes de salida del transmisor.

El límite máximo de ancho de banda ( $\Delta B$ ) determinado por Fano-Bode depende de tres variables: frecuencia de portadora, coeficiente de reflexión y factor de calidad; las dos primeras han sido fijadas para nuestro análisis, obteniendo  $\Delta B$  solo en función del factor de calidad del adaptador y según las siguientes consideraciones:

- » Frecuencia de portadora ( $f_o$ ). Se realizó para cinco frecuencias: 550 y 750 kHz, 1, 1.300 y 1.650 MHz.
- » Coeficiente de reflexión ( $\rho_{av}$ ). Promedio dentro de banda, se consideró que el ROE máximo permitido para un transmisor es de 1,2, a partir del cual el transmisor empieza a replegar potencia. Se fijó alcanzar un  $ROE_{m\acute{a}x}$  de 1,16 (80% del escalón de ROE entre 1 y 1,2) y que se dará en los extremos de las bandas laterales de  $\pm 10$  kHz.
- » Se consideró que la distribución de ROE en banda es de tipo triangular, con un ROE equivalente a uno en portadora y ROE máximo de 1,16 en extremos de banda de emisión de  $\pm 10$  kHz. Por tanto, el promedio ( $ROE_{av} = 1,08$ ) es dato de ingreso del límite de Fano según  $\rho_{av} = (ROE_{av} - 1) / (ROE_{av} + 1)$ . Con un  $\rho_{av} = 0,0385$  promedio dentro de banda, obtendremos un ancho de 20 kHz.
- » El factor de calidad del adaptador de impedancias define el ancho de banda del sistema, y se analizó para dos tipos de adaptadores de impedancias:
  - Tipo L: con ancho de banda angosto y factor de calidad fijo dado por

$$Q = (R_{ant} / R_{coax} - 1)^{1/2} \text{ para } R_{ant} > R_{coaxil}$$

$$Q = (R_{coax} / R_{ant} - 1)^{1/2} \text{ para } R_{ant} < R_{coaxil}$$

- Tipo **T** o  $\pi$ : de banda ancha y con factor de calidad ajustable al valor deseado.
- » Diámetro genérico de mástil: se fijó en dos metros para todos los casos y se utilizaron las curvas de impedancias dadas en Anexo para obtener la impedancia de antena, principalmente  $R_{ant'}$  que nos servirá para hallar el factor de calidad de una red adaptadora de impedancias.

Aplicando el límite de Fano para  $\Delta B$ , se obtuvo el valor del factor de calidad para un adaptador de banda ancha y lograr un  $\Delta B$  de 20 kHz pretendido, que corresponderá al factor de calidad deseado en el diseño de una red tipo T o  $\pi$  seccionada en cuarto de onda.

Cuando se utiliza el diagrama de Smith para sintetizar redes de cualquier tipo, cada brazo serie o paralelo que se introduzca alcanzará una curva de factor de calidad constante. El elemento insertado que tenga mayor valor de factor de calidad es el que fijará el factor de calidad de la red de adaptación de impedancias. Al respecto, se deja al lector un mayor análisis aplicando el método de sección de cuarto de onda y para dos redes adaptadoras en serie, pues la inversa del  $Q_{total}$  será igual a la suma inversa de los factores de calidad de ambas redes ( $1/Q_{total} = 1/Q_{adapt1} + 1/Q_{adapt2}$ ).

## Observación

Al diseñar una red adaptadora de impedancia de antena de AM, es importante considerar la conveniencia que el brazo serie/paralelo enfrente a la antena sea de tipo inductivo, para brindar un camino de drenaje de cargas estáticas inducidas en el mástil, producidas preferentemente por el roce del viento y también por inducciones generadas por la cercanía de nubes cargadas estáticamente.

## Resultados

El análisis se realizó por medio de planillas de cálculos y agrupados por altura de mástil, donde 'banda angosta' se refiere al adaptador tipo L y 'banda ancha' al tipo **T** o  $\pi$ . Ver tablas 1, 2 y 3.

En  $\lambda/4$ , para las frecuencias de la subbanda superior de AM no fue necesario analizarlo con acoplador de banda ancha, pues la relación de impedancias es muy baja y vale con una de tipo L de factor de calidad fijo.

Una conclusión preliminar es que obtenemos una  $R_{ant}$  cercana a 40/48  $\Omega$  en mástiles de  $\lambda/4$  y en un gran margen de relación altura/diámetro, por tanto la relación de adaptación de impedancias será pequeña y con factores moderados de factor de calidad.

Altura de $\lambda/4$ (90°)					
f	550 kHz	750 kHz	1.000 kHz	1.300 kHz	1.650 kHz
Diámetro	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m
Alt./Diám.	70 m	50 m	38	29	22,5
$R_{ant}$	38	40	40	43	48
$J X_{ant}$	28	27	26	25	25
$Q_{acop\ angosto}$	0,562	0,500	0,500	0,403	0,20
$Q_{acop\ ancho}$	0,21	0,38			
$ROE_{av}$	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
$\rho_{av}$	0,0385	0,0385	0,0385	0,0385	0,0385
Banda angosta	10,01 kHz	15,35 kHz	20,46 kHz	32,97 kHz	82,73 kHz
Banda ancha	20,52 kHz	20,2 kHz			

Tabla 1

En  $\lambda/2$ , para esta altura de mástil, la resistencia de antena aumenta abruptamente de dos a cuatro veces respecto de 50  $\Omega$ , y por ende, el factor de calidad de un adaptador de

banda angosta. Por lo tanto, se debe instalar adaptador de banda ancha independiente de la frecuencia de operación.

Altura de $\lambda/2$ (190°)					
f	550 kHz	750 kHz	1.000 kHz	1.300 kHz	1.650 kHz
Diámetro	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m
Alt./Diám.	144 m	106 m	79	61	47,5
$R_{ant}$	200	108	150	120	100
$J X_{ant}$	-450	-420	400	-330	-200
$Q_{ant}$			2,67	2,75	2
$Q_{acop\ angosto}$	1,73	1,08	1,41	1,18	1
$Q_{acop\ ancho}$	0,28	0,38	0,51	0,66	0,84
$ROE_{av}$	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
$\rho_{av}$	0,0385	0,0385	0,0385	0,0385	0,0385
Banda angosta	3,24 kHz	7,12 kHz	7,23 kHz	11,24 kHz	16,88 kHz
Banda ancha	20,1 kHz	20,2 kHz	20,06 kHz	20,15 kHz	20,1 kHz

Tabla 2



Altura de $5/8 \lambda$ ( $225^\circ$ )					
f	550 kHz	750 kHz	1.000 kHz	1.300 kHz	1.650 kHz
Diámetro	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m
Alt./Diám.	170 m	50 m	94	73	56,25
$R_{ant}$	57	125	48	45	42
$J X_{ant}$	-180	55	-300	-140	-105
$Q_{acop \text{ angosto}}$	0,37	-175	0,2	0,33	0,44
$Q_{acop \text{ ancho}}$					
$ROE_{av}$	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
$\rho_{av}$	0,0385	0,0385	0,0385	0,0385	0,0385
Banda angosta	15,04 kHz	24,27 kHz	50,14 kHz	39,91 kHz	38,69 kHz

Tabla 3

En  $5/8 \lambda$ , esta altura de mástil es sumamente favorable para el ancho de banda en la subbanda superior, pues la resistencia de antena es muy cercana a  $50 \Omega$  e implica una adaptación del acoplador de muy baja relación y bajo factor de calidad.

Asimismo, se graficaron los valores  $\Delta B$  en función de  $f$ , obtenidos para tres alturas de mástil y factores calidad para facilitar un mejor análisis con respecto al ancho de banda (ver figura 1).

En todo proyecto de AM y para emitir en banda ancha, deberá analizarse en cada caso particular las características eléctricas y físicas del mástil irradiante para una frecuencia de portadora dada; de manera general, puede resumirse en los siguientes conceptos según la altura eléctrica del mástil:

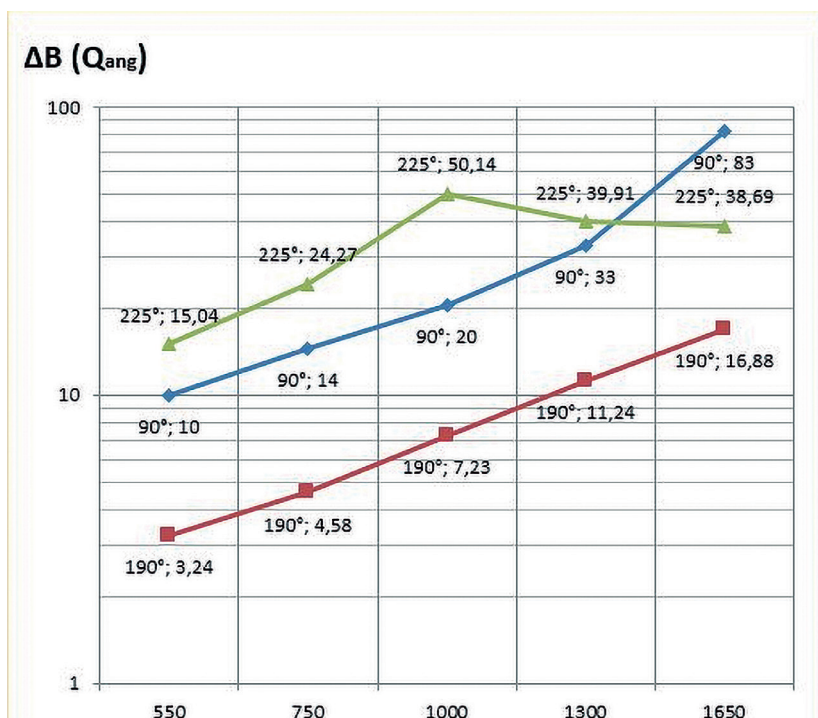


Figura 1

- » Altura de mástil  $\lambda/4$  ( $90^\circ$ ): se puede lograr buen ancho de banda con un acoplador menos elaborado a partir de 1 MHz aproximadamente, su contrapartida es menor ganancia.
- » Altura de mástil  $\lambda/2$  ( $180^\circ$ ): para ninguna frecuencia de operación se logrará buen ancho de banda utilizando un acoplador de banda angosta, y deberá implementarse uno más elaborado, su contrapartida es mayor ganancia.
- » Altura de mástil  $5/8 \lambda$  ( $225^\circ$ ): si bien es impracticable dentro de la subbanda inferior, por el contrario, en el rango de frecuencia media superior es factible lograr banda ancha con acopladores de banda angosta; la ganancia es la máxima obtenible.

ser de 1,16 en extremos de banda de  $\pm 10$  kHz, centrado en portadora, independientemente de la frecuencia de operación y altura del mástil; para emitir en banda ensanchada ( $\Delta B$  de 20 kHz o mayor) y lograr índices de modulación del 145%.

El factor de calidad del acoplador de impedancias y, en el caso que se precise, ensanchar la banda para mástiles de  $\lambda/2$ , podrá considerarse como figura conservativa un  $Q = 0,38$  aproximadamente, si bien cada caso deberá ser analizado en particular.

Para obtener los resultados expuestos, se han hecho dos presunciones importantes y que pueden ser modificadas o mejoradas por el lector: el ROE máximo en extremos de banda de emisión y la distribución triangular.

Dentro de las posibilidades estrechas de diseño que limita la frecuencia de operación, es conveniente seleccionar en algunos casos una relación adecuada de altura/diámetro para lograr una resistencia en base de antena lo más semejante a  $50 \Omega$ , de tal manera que la relación de adaptación sea lo más baja posible y por ende máximo ancho de banda pretendido. Por ejemplo, en la subbanda superior del espectro (superior a 1 MHz aproximadamente) es conveniente inclinarse por un mástil de  $5/8 \lambda$  en lugar de alturas menores, mejorando notablemente la ganancia de antena y ancho de banda.

En la subbanda inferior del espectro, es aconsejable determinar previamente el grado de mejora que se obtendrá “enjaulando” el mástil con líneas exafilares, para disminuir el factor de esbeltez (altura/diámetro) y en cuanto afectaría a la resistencia en base de antena con respecto al factor de calidad del adaptador de impedancias. ►

Nota del editor  
Por referencias bibliográficas, anexo y consultas referidas al tema aquí tratado, contactar al autor.

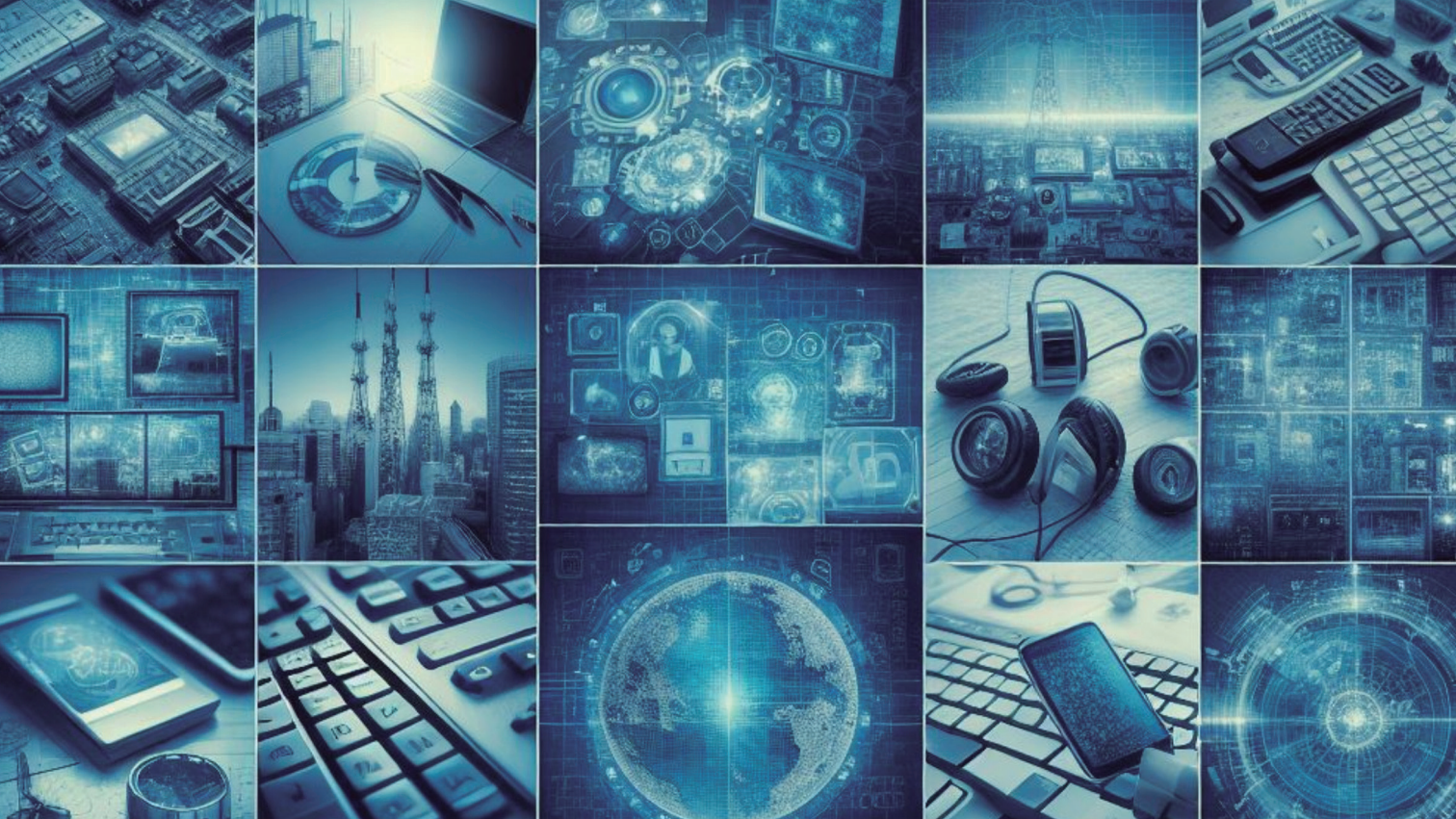
## Conclusiones

El presente estudio analizó el ancho de banda de emisión en AM obtenido de acuerdo al criterio de Fano-Bode, según el factor de calidad del acoplador de impedancias utilizado. Pueden ser de dos tipos: banda angosta (tipo L) o banda ancha (tipo  $\pi$  o  $\pi$  por secciones de cuartos de onda), y para determinadas frecuencias medias geométricas dentro de la banda de AM.

Determinamos que la relación de onda estacionaria máxima deberá

**Es conveniente seleccionar en algunos casos una relación adecuada de altura/diámetro para lograr una resistencia en base de antena lo más semejante a  $50 \Omega$**





# **Consejo Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones, Electrónica y Computación**

**“Desde 1959, asumiendo el control  
del ejercicio profesional en la materia,  
otorgando matrículas y cumpliendo así  
con las funciones específicas  
delegadas por el estado nacional”**

---

**Decreto Ley 6070/58 (Ley 14.467)**

