

CAPÍTULO 2.7.

LA APORTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y COMUNICACIONES (TICS) A LA SANIDAD VEGETAL

Fernando Rubio Navarro y Beatriz Recio Aguado

2.7.1. Introducción

Las Tecnologías de la Informática y Comunicaciones (TICs) se comenzaron a desarrollar a partir de la Segunda Guerra Mundial y desde entonces han experimentado un proceso de innovación vertiginoso que ha dado lugar a sucesivas oleadas de invenciones revolucionarias, cada una de enorme entidad en sí misma, pero que al solaparse se refuerzan y complementan: transistores (1950), ordenadores de 3ª generación (1967), microordenadores (1975), redes de ordenadores (1980), sistemas distribuidos (1990), Internet (1960-2000), telefonía móvil (1990), Web 2.0 (2010), etc. Estos avances técnicos se han transformado en nuevos productos industriales, de penetración social a nivel planetario, que han cambiado nuestra realidad, especialmente en los últimos 30 años. Sin ánimo de analizar este proceso en profundidad, sí ha lugar mencionar su **impacto en el medio rural** y, en general, en entornos relacionados con la producción vegetal.

Los intentos de informatizar la producción agraria se remontan a los años 80 del siglo XX y, con excepciones, han progresado por detrás de otros del resto de la sociedad hasta fechas recientes. De forma simplificada, la razón fundamental de esta disonancia puede ser que hasta hace poco no se han podido llevar el ordenador y la conectividad al centro productivo de forma asequible, efectiva y fiable.

Si la informatización industrial se ha basado en autómatas programables y ordenadores industriales, a las parcelas agrícolas no se había conseguido trasladar un dispositivo equivalente capaz de llevar sensores, datos y capacidad de proceso de información. Además, los intentos de instalar ordenadores en los hogares de los agricultores y convertirlos en usuarios habituales, también se han enfrentado a dificultades de diverso tipo.

La **introducción de los teléfonos móviles avanzados** a partir de 2010 ha resuelto esa problemática, proporcionando dispositivos portátiles, siempre conectados y con un abanico de sensores de gran potencial si son empleados de manera creativa (i.e., cámara, giróscopos, GPS, etc.). Además, los nuevos modelos de teléfonos móviles cuentan con capacidad de proceso cada vez mayor, en ocasiones superior a la de los propios ordenadores. Así, es de destacar que los últimos modelos (2018/19) cuentan con sofisticados procesadores de tratamiento de imágenes y aprendizaje neural que, aunque solo están disponibles en los modelos más avanzados, se puede esperar que se conviertan en componentes comunes en pocos años, proporcionando un gran potencial en áreas como la identificación de agentes nocivos, análisis de datos, etc.

La combinación de los terminales portátiles y la internet móvil permite aplicar tecnologías Web 2.0 a los entornos productivos agrícolas. La Web 2.0 se puede resumir como la **aplicación de las tecnologías propias de las redes sociales a organizaciones y entornos económicos**, abarcando aspectos como: (i) la creación, difusión y gestión de contenidos dinámicos; (ii), la socialización del conocimiento; (iii) las redes personales profesionales; (iv) la comunicación instantánea, etc. El uso de estos elementos permite estructurar poblaciones de investigadores, técnicos y agricultores en diferentes ámbitos productivos, difundir rápidamente noticias y avisos, proporcionar servicios digitales, formación, etc.

En paralelo, la **sensorica** en todas sus ramas se ha desarrollado extraordinariamente desde finales del siglo XX hasta el momento. Como consecuencia de ello, es posible disponer de puntos de toma de datos de bajo coste distribuidos por las parcelas agrícolas que proporcionan información en tiempo real. Estas redes de sensores se complementan con ordenadores de captura (*dataloggers*) y el software necesario para almacenar, procesar y presentar la información obtenida. El uso de estas redes en la mejora de la producción agrícola solo está en sus comienzos y es de esperar que sea una de las grandes líneas de I+D y desarrollo de nuevos productos en el futuro próximo.

Otro elemento estrechamente relacionado con la sensorica es la **teledetección**. Esta tecnología es aún más antigua que la nueva sensorica puesto que su uso civil se inició en los años 80 del siglo XX y está alcanzando ahora su madurez. La posibilidad de disponer de imágenes aéreas y de satélite más baratas, frecuentes y de mayor calidad, la mejora de las cámaras, y la disponibilidad de software de tratamiento complejo, permite la aplicación de la teledetección para realizar análisis de cultivos, identificación de agentes nocivos, cálculo de evapotranspiración y otros muchos campos de aplicación.

Por ultimo, al igual que en el conjunto de la sociedad, se prevé que la **robótica** sea una de las líneas de innovación de mayor impacto industrial y social en los

años próximos. Los vehículos autónomos, dispositivos automáticos inteligentes y accesorios dotados de microsensores e incluso de visión artificial aportan nuevas posibilidades a la maquinaria agrícola, abriendo el campo a una verdadera **agricultura de precisión**. Las posibilidades futuras de esta nueva tecnología son espectaculares pero difíciles de prever en detalle en este momento, más allá de la especulación futurista. Sin embargo, al contrario que en otros periodos, son posibilidades que responden a expectativas reales como se puede comprobar analizando los prototipos de vehículos autónomos de las grandes marcas de maquinaria agrícola o los avances que ya se están produciendo en otros sectores.

A continuación se exponen de manera resumida los fundamentos, el grado de madurez y el impacto de los puntos anteriores. No obstante, es importante señalar que éstos han sido seleccionados en función de su importancia para la Sanidad Vegetal, a juicio de los autores. La temática es mucho más amplia y esta selección puede ser discutida.

2.7.2. La web 2.0 y el sector de la Sanidad Vegetal

2.7.2.1. ¿Qué es la web 2.0?

Desde la socialización de la internet alrededor de 1995 se pueden distinguir las siguientes generaciones técnicas:

- (i) **Internet 1.0. (-1998)**. Basado en páginas HTML estáticas. El papel del internauta es pasivo, simple lector de información.
- (ii) **Internet 1.5. (1998-)**. Tras resolver diversos problemas técnicos y de seguridad, las páginas se vuelven dinámicas, permitiendo contenidos personalizados y cierta interacción. **Es la base del comercio electrónico.**
- (iii) **Internet 2.0 (2005-.)**. Es una orientación más radical en la que los contenidos son generados colectivamente por los usuarios, que intervienen tanto **como emisores como receptores de la información generada.**
- (iv) **Internet 3.0. (2010-.)**. Es la capacidad de relacionar conceptos empleando etiquetas inteligentes en el contexto web.

La internet 2.0 es más conocida como Web 2.0. El término Web 2.0 lo acuñó Tim O'Reilly, de una conocida editorial de libros de informática. Hace referencia a los nuevos elementos colaborativos que permiten al usuario interactuar con la internet: *wikis*, blogs, foros, redes sociales, nuevos servicios, etc.

En la internet anterior a 2.0, el paradigma de la comunicación no había cambiado a pesar de los avances que se habían realizado: había emisores y recepto-

res de la comunicación. En lugar de un periódico había cientos, en vez de una página miles, etc., pero seguía existiendo la diferenciación entre productores y consumidores de la información (Figura1).

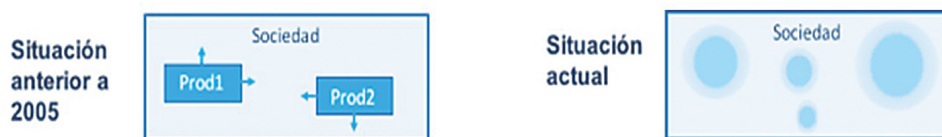


Figura 1. Evolución en la estructura social entre productores y consumidores de la información.

En cambio, en el nuevo contexto 2.0, la jerarquía entre productores y consumidores de información se rompe definitivamente. La web 2.0 empodera a los internautas y cambia las relaciones de comunicación sociales de manera radical. Toda la internet actual está influenciada por el mundo web 2.0.

La **Enterprise 2.0** es el término que hace referencia al uso empresarial de las plataformas sociales (Web 2.0), que puede darse entre las empresas, sus socios o sus clientes.

“Con el uso de estas plataformas comienza a mejorar la productividad, la comunicación cada vez mayor de personas, el intercambio de conocimientos y la innovación. Más allá de las palabras de moda, hemos visto muchas organizaciones transformarse lentamente en empresas más colaborativas y sociales, cambiando la forma en que interactúan internamente y externamente con los clientes” (Prof. Andrew McAfee, Universidad de Harvard).

Emplear Enterprise 2.0 no implica necesariamente tener plataforma propia, sino que se pueden usar las plataformas generalistas y soportar las necesidades de comunicación de cualquier organización a tres niveles: (i) interna; (ii) sectorial; y (iii) social. Al contrario que en las redes sociales generalistas, en Enterprise 2.0 el protagonista no es el individuo o sus relaciones, sino la comunidad virtual, cualquiera que sea su tipo: empresa, proyecto, asociación, grupo de trabajo, etc.

Los sistemas Enterprise 2.0 no solo hacen referencia a las empresas de forma estricta, sino también a cualquier uso profesional de las tecnologías sociales en plataformas especialmente diseñadas para ello. En concreto, los destinatarios de estos sistemas son los colectivos asociados a los sistemas productivos, tanto privados como abiertos.

En las siguientes referencias se encuentra información sobre la Web 2.0: Benkler, 2007; Corso et al., 2008; Demailly, 2008; Scott y Meerman, 2008; Shuen, 2018; y Solomon et al., 2007.

2.7.2.2. Las necesidades de comunicación de la Sanidad Vegetal

Dentro de las actividades técnicas ligadas a la producción agrícola, el sector de la Sanidad Vegetal es particularmente importante por diferentes razones:

- Abarca la cadena completa de conocimiento desde la investigación básica a los agricultores
- El gran número de profesionales que integran la comunidad en toda España, la mayoría de ellos dispersos por todo el territorio
- La necesidad de compartir experiencias, comunicarse y consultarse para realizar su trabajo
- La necesidad de compartir alarmas en poco tiempo
- La necesidad de compartir la bibliografía y filmografía de todo tipo, disponibles
- La necesidad de integrar asociaciones particulares
- La inserción de la comunidad de expertos en Sanidad Vegetal en estructuras científico-técnicas y sectoriales más amplias. Además, esta comunidad se articula en diferentes asociaciones y grupos que deben estar coordinados entre sí

En la Figura 2 se muestran los aspectos mencionados, junto con las relaciones entre la Asociación Española de Sanidad Vegetal (AESaVe) y la Asociación para la Promoción de la Gestión Integrada de Plagas (Aprogip) como entidades de ejemplo. En resumen se pueden identificar las siguientes necesidades, entre otras:

- Visualizar, cohesionar y comunicar a la comunidad de la Sanidad Vegetal
- Centralizar el repositorio de documentación de todo tipo, propio de la actividad que se desarrolla y ponerlo a la disposición de los interesados
- Capturar las consultas de los agricultores, distribuirlas y proporcionar los medios para que sean resueltas y comunicadas
- Distribuir las alarmas fitosanitarias de manera rápida y eficiente

En la actualidad estas necesidades están **siendo satisfechas mediante productos sustitutivos**; esto es, productos que no han sido pensados para resolver las citadas necesidades pero que permiten solventarlos de forma parcial: *whats-App*, listas de correo, boletines, páginas web sencillas, etc. Hay que **anotar especialmente la carencia de aplicaciones móviles especializadas y la pobreza funcional de las existentes dada la importancia de la informática móvil en el entorno agrario.**

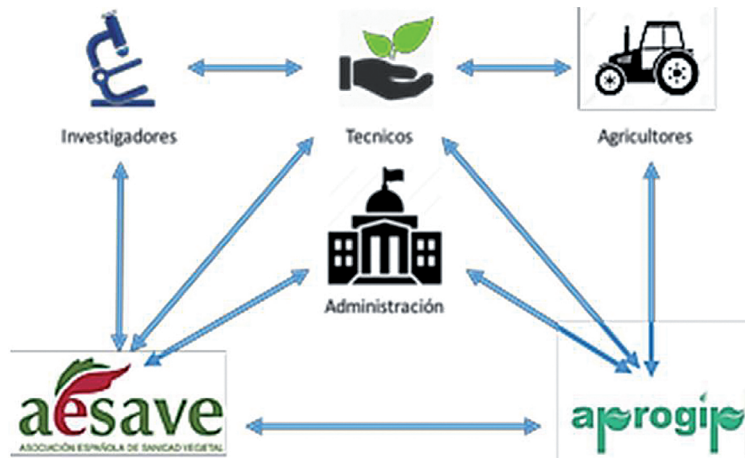


Figura 2. Esquema ilustrativo de las relaciones que propicia la plataforma Chil entre profesionales de la Sanidad Vegetal en España.

2.7.2.3. Chil como plataforma Web 2.0

Chil es una plataforma web/móvil española específicamente diseñada para abordar las carencias antes referidas, desarrollada en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Su nombre proviene de un personaje de El libro de las Tierras Vírgenes de Rudyard Kipling: Chil el Milano que vuela sobre la selva transmitiendo las noticias que observa y aconsejando a los personajes en sus tareas. Su perfil contiene unos valores y unos matices que esta plataforma quiere hacer suyos. **Chil** es una red profesional especializada en el mundo rural y pesquero; es una plataforma Enterprise 2.0 que permite a las organizaciones gestionar poblaciones, contenidos y productos de manera dinámica. Para ello, incluye elementos que les permiten organizar colaborativamente su interacción a los tres niveles de comunicación: interna, sectorial y externa:

- Se apoya en un *cloud* o nube de ficheros seguros, particionado para cada actor, y una red social profesional conectada a Facebook, Google+ y Twitter sobre la que se basan las funciones de seguridad
- Con dicha red, los gestores de cada organización pueden configurar diferentes zonas con tableros de noticias, muros de interacción, catálogos de productos, repositorios de documentos, *liveblogs*, calendarios dinámicos y otros componentes, cada una con diferentes criterios de visualización, participación y difusión
- Además, Chil proporciona herramientas activas para la federación de contenidos entre organizaciones afines (i.e., sucursales de una em-

presa, miembros de una asociación), de forma que los contenidos de una pasen a las otras de manera dinámica de acuerdo a reglas definidas. Este aspecto, permite definir esquemas de comunicación externa y sectorial flexibles, incluyendo la definición de portales de conocimiento completos en base a federación de organizaciones

- Todos estos contenidos integrados se pueden proyectar en mapas dinámicos o realizar búsquedas integradas sobre ellos en base a categorías, texto, precio, etc.
- Además, un sistema de web semántica propio permite organizar los contenidos en portales de conocimiento y distribuirlos mediante correos electrónicos, redes sociales, SEO, etc. a los individuos interesados en base a sus intereses
- Estos componentes se proyectan tanto en web personalizadas como en aplicaciones móviles nativas a medida para Android e IOS, totalmente diseñadas según los interesados. Con ello, las organizaciones presentan a sus usuarios webs y aplicaciones (“apps”) propias como interfaz del sistema (medio con que el usuario comunica con el dispositivo), no simplemente la página de una plataforma ajena, lo que facilita reforzar su imagen

El espíritu de la iniciativa es servir al sector agrario, rural, alimentario y medioambiental a nivel español y europeo. Por sus características, Chil se está aplicando en numerosos proyectos de articulación de asociaciones o comunidades de la Sanidad Vegetal en España.

2.7.3. Diagnóstico asistido de afecciones vegetales y diseño de tratamientos fitosanitarios

2.7.3.1. Introducción y tecnologías involucradas

El diagnóstico asistido consiste en **usar herramientas informáticas para ayudar a los técnicos en la identificación de los agentes nocivos y los síntomas que originan** en las plantas afectadas, pudiendo contribuir con ello al diagnóstico preciso de la afección. A partir del mismo, también se puede recibir las recomendaciones de los expertos que cumplen la función de asesoramiento para la Gestión Integrada de enfermedades, plagas y malas hierbas (GIP) en el marco del Real Decreto 1311/2012 sobre el Uso Sostenible de los Productos Fitosanitarios (BOE, 2012). Ambas tareas siguen una secuencia lógica, pero en realidad son muy distintas entre sí y se llevan a cabo empleando tecnologías diferentes.

Históricamente, estos sistemas se remontan a la época de difusión de los **Sistemas Expertos** y la lógica difusa a principio de los años 90 del siglo XX. A raíz del sistema MYCIN, **un sistema de diagnóstico médico** que durante mucho tiempo fue considerado una referencia (Buchanan y Shortliffe, 1984), se diseñaron sistemas de diagnóstico/decisión para campos tan diferentes como **la medicina, la banca, la minería, el mantenimiento industrial** y muchas otras áreas.

Esos primeros sistemas se ejecutaban en los ordenadores personales de la época, y se basaban en conjuntos dinámicos de preguntas que se iban interpretando mediante sistemas de reglas (base de conocimientos) para obtener un diagnóstico con determinado grado de certeza. La acción/decisión/tratamiento se identificaba usando técnicas más diversas pero menos arriesgadas técnicamente. A pesar de su carácter innovador, pocos de estos sistemas se emplearon en la práctica y tuvieron continuidad, con algunas notables excepciones (Duan, et al., 2005; Horvitz et al., 1988; Plant et al., 1991)

Uno de los elementos de incertidumbre e incomodidad para el usuario de esos sistemas era la dificultad de describir imágenes en las preguntas, por ejemplo, “¿Percibe usted que la hoja está anaranjada en las puntas?” Por eso, al generalizarse los teléfonos móviles con cámaras de alta resolución, se empezó a plantear el uso de **sistemas de visión artificial** para realizar **la identificación de las afecciones vegetales a partir de los síntomas** que originan los agentes nocivos que las causan, que pueda dar lugar al diagnóstico de dichas afecciones vegetales. Sin embargo esta tarea resultó ser más difícil de lo esperado, debido a los tratamientos de imágenes necesarios para compensar las diferentes condiciones de luz, formas, etc.

2.7.3.2. Las redes neuronales y la visión automática

La reciente aparición de productos comerciales basados en redes neuronales para aprendizaje profundo aporta la herramienta que faltaba en el esquema anterior.

Las **redes neuronales artificiales** (RNA) son sistemas de procesamiento de la información cuya estructura y funcionamiento están inspirados en las redes neuronales biológicas (Hilera y Martínez, 1995). Dichas redes consisten en un gran número de elementos simples de procesamiento, llamados **nodos o neuronas**, que están organizados en capas. Las RNA son sistemas adaptativos que aprenden de la experiencia, esto es, **aprenden a llevar a cabo ciertas tareas mediante un entrenamiento** con ejemplos ilustrativos. Mediante este entrenamiento o aprendizaje, las RNA crean su propia representación interna del problema,

motivo por el cual se dice que son auto-organizadas. Posteriormente, las RNA pueden responder adecuadamente cuando se les presentan situaciones a las que no habían sido expuestas anteriormente, es decir, las RNA son **capaces de generalizar de casos anteriores a casos nuevos**. Esta característica es fundamental, ya que permite a la red responder correctamente no sólo ante informaciones novedosas, sino también ante informaciones distorsionadas o incompletas.

Al entrenamiento de una RNA también se le denomina **aprendizaje profundo**. Cuando las RNA se aplican a sistemas de visión artificial, el entrenamiento les permite reconocer en las imágenes formas y patrones (hojas con determinado nivel de marchitez o decoloración, por ejemplo) con independencia de ángulos, luminosidad formas y otras condiciones particulares.

2.7.3.3. Los sistemas de diagnóstico asistido en la Sanidad Vegetal

Desde el año 2017 se están multiplicando las referencias científicas de sistemas de diagnóstico de afecciones vegetales usando sistemas de visión y redes neuronales para aprendizaje. La mayoría de ellos sigue el esquema que se presenta en la Figura 3. Los productos comerciales basados en las experiencias de investigación están apareciendo también poco a poco, sin embargo se enfrentan a los **problemas técnicos y económicos de una arquitectura de este tipo**.

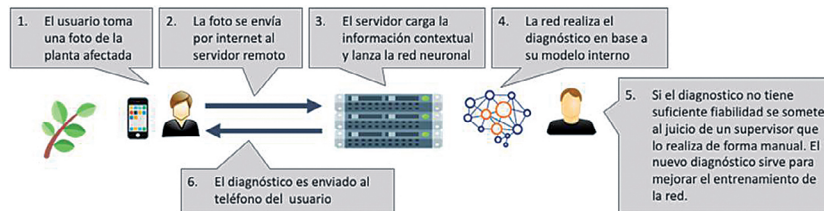


Figura 3. Esquema ilustrativo de sistemas de diagnóstico de afecciones vegetales usando sistemas de visión y redes neuronales para aprendizaje.

En las siguientes referencias se encuentra información sobre diagnóstico asistido en agricultura: Badiru, 1992; Desai et al., 2016; Garcia Arnal Barbedo, 2016; Golhania y Balasundram 2018; Savita et al. 2013; y Sankaran et al., 2010.

2.7.3.4. Diseño de tratamientos asistido

El diseño de tratamientos sigue una problemática totalmente diferente. En este caso no hay un problema de visión artificial sino de **análisis de los dife-**

rentes condicionantes que intervienen en la explotación agraria: suelo, clima, cultivo, historial de cultivos/tratamientos, maquinaria, normativas, plagas, enfermedades y malas hierbas, régimen de cultivo, etc.

La tecnología empleada con más éxito es de tipo **Sistema experto** con varias capas. El problema es que para que el diseño tenga la calidad esperada, el sistema debe poder acceder a los datos del cuaderno de explotación, así como incorporar las bases de conocimiento externas que reflejen normativas, vademécums, etc. Por eso, la puesta en práctica de este tipo de sistemas es complicada en la práctica, aunque ya existen productos comerciales que lo ofrecen.

2.7.4. Herramientas de gestión de explotaciones

2.7.4.1. Software o conjunto de programas, aplicaciones, procedimientos, reglas, etc. del sistema

Las herramientas software de gestión de explotaciones agrarias están experimentando una profunda transformación en los últimos años, al tiempo que su importancia aumenta en paralelo con la profesionalización de la agricultura.

Diferentes análisis de mercado predicen un gran potencial en este tipo de software (Bowery Capital, 2018; Grand View Research, 2018; Markets & Markets, 2018) y además, se puede comprobar en la práctica que cada vez aparecen nuevos productos de este tipo, tanto generalistas como específicos por tipo de cultivo, integrados con cooperativas u organizaciones, etc.

Las orientaciones de este tipo de software son de dos tipos, y fundamentalmente: (i) considera a la explotación agrícola una actividad económica más y traslada herramientas de gestión generales (i.e., ERP's, gestión de activos, almacén, etc.); y (ii) considera la explotación agrícola en sí misma, con todas sus particularidades, como gestión de parcelas, libro de explotación, planificación de cultivos, etc. Ambas orientaciones están siendo combinadas en los últimos desarrollos, sin embargo la orientación inicial determina fuertemente la orientación global de la herramienta.

Por otro lado, también existe la **nueva tendencia de integrar los datos de gestión con modelos especializados** provenientes de centros de experimentación relativos a regadío, fertilización, tratamientos fitosanitarios, etc.

En España hay que destacar en esta tendencia el sistema SigAgroAsesor desarrollado por un consorcio de diferentes institutos técnicos españoles (Armesto y Lafarga, 2016).

2.7.4.2. Cuadernos de campo y trazabilidad

Ante la obligación de mantener **cuadernos de campo** en cada explotación (Ministerio de Sanidad y Política Social, 2009), están surgiendo más productos orientados a esta necesidad. La mayoría de ellos se basan en esquemas de software como Servicio (SaS), lo que quiere decir que hay que pagar una suscripción mensual y acceder a ellos mediante interfaces web. Iñigo (2016) hizo un estudio comparativo de varios cuadernos de explotación.

La funcionalidad de estas aplicaciones es muy sencilla a nivel conceptual, de forma que la posible diferenciación entre unos productos y otros se basa en:

- Optimizar la experiencia del usuario, especialmente vinculándola a aplicaciones móviles, como “apps” e interfaces webs adaptativas; así como empleando interfaces GIS usando mapas coloreados, dibujos de parcelas, etc.
- Integración con funciones empresariales más complejas, como trazabilidad, inventarios de maquinaria, gestión de almacén, proveedores, control de costes, etc.
- Integración con sistemas de seguimiento de datos en parcela a través de redes de sensores WSN y BigData
- Integración social de la aplicación para cubrir cooperativas o unidades de agricultores mayores usando un solo producto. En este caso, el cliente es dicha entidad, considerándose los agricultores individuales usuarios
- Enlace con SIGPAC, vademécums electrónicos, bases de datos de legislación y otros servicios digitales que ayuden en la decisión y anotación de las acciones efectuadas
- Sistemas muy sencillos de ayuda a la identificación de los agentes nocivos y los síntomas de utilidad para las recomendaciones de GIP

La **trazabilidad** plantea problemas más complejos. Desde el 1 de enero de 2005, las empresas agroalimentarias tienen la obligación de **registrar la trazabilidad de sus productos, desde la producción a la distribución**. El concepto de trazabilidad no es nuevo y se aplica tradicionalmente a protocolos de producción a fin de garantizar la calidad u origen determinado a un alimento. Antes de dicha fecha ya existía una exigencia legal para ciertos productos y el concepto está implícito en el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control. La novedad desde el año 2005 es que la **trazabilidad se ha convertido en una obligación general de todas las empresas de alimentos y piensos**, sin distinción de tamaño, actividad, productores y distribuidores, del cual se derivan importantes consecuencias.

La trazabilidad **controla el origen y destino del ingrediente o alimento en todas las etapas de producción y distribución del mismo**, y obliga a identificar quién ha suministrado un ingrediente -trazabilidad hacia atrás- y a quién se le ha suministrado -trazabilidad hacia delante-. La trazabilidad es una obligación de los profesionales que no se extiende al consumidor final, al que no es preciso identificar.

Desde el punto de vista empresarial e informático, el seguimiento de la trazabilidad obliga a un **control empresarial más riguroso**, organizando la producción en partidas y anotando las series de los productos aplicados. Las explotaciones agropecuarias, al ser productores primarios, tienen menos dificultades para el seguimiento de la trazabilidad de sus productos; pero a medida que se asciende por la cadena de transformación, la trazabilidad hacia atrás se vuelve más compleja al aumentar los proveedores y las variaciones.

El software de trazabilidad de las explotaciones agrícolas **se integra normalmente con los sistemas de seguimiento de campo** y otros paquetes de gestión empresarial; y dependiendo de la actividad agrícola se introducen algunos elementos propios, particularmente en actividades ganaderas, frutales, etc.

La **trazabilidad en las empresas de transformación y distribución** se realiza de acuerdo a diferentes modelos, al ser una actividad conceptualmente más compleja. El sistema más comúnmente aceptado consiste en **integrarla dentro de sistemas avanzados de gestión empresarial tipo *Enterprise Resource Planning* (ERP)** (Aberdeen Group, 2009; Esteve, 2001).

Los ERPs son los sistemas de gestión empresarial informática más avanzados e integran todos los aspectos de las cadenas de venta, producción, distribución y flujos financieros. El concepto de ERP es muy amplio y los productos de este tipo son una de las líneas de negocio más importantes en la informática profesional actual. Sin entrar en los pormenores de estos sistemas, hay que destacar que, al ser aplicados a empresas de transformación de productos agrícolas, admiten un alto grado de especialización, entre otras razones para cubrir las necesidades legales de la trazabilidad.

2.7.5. *Big Data*

2.7.5.1. Orígenes e introducción

La aparición en el año 2009 de un nuevo virus de la gripe de mayor virulencia que los anteriores determinó en los EE. UU. que el Departamento de Salud, coordinado con sus equivalentes en los diferentes Estados y las asociaciones mé-

dicas, organizara un complejo sistema de información para que los médicos comunicaran los casos registrados y así poder monitorizar el avance de la epidemia. Sin embargo, la expansión territorial de la enfermedad siempre iba por delante de la información recibida.

De manera casual, prácticamente al mismo tiempo, varios ingenieros de Google publicaron un artículo en la revista *Nature* en el que demostraban que Google podía predecir el avance de la gripe invernal, no solo a nivel nacional sino también al estatal e incluso por regiones específicas (Ginsberg et al., 2009). Para ello solo se tenían que analizar las búsquedas relacionadas con la enfermedad en relación a los puntos geográficos en que se producían. El elevado número de consultas diarias que recibe y almacena Google (3000 millones) proporciona una amplia base de datos sobre la que realizar los análisis. Para conseguir dicha predicción, los autores ensayaron diferentes modelos matemáticos que relacionaban ciertos elementos de búsqueda con la propagación de la enfermedad, hasta identificar los parámetros de correlación estadística óptimos (Lazer et al., 2014).

Ese artículo científico se considera el nacimiento del ***Big Data*** y muestra los dos elementos fundamentales de esta tecnología: (i) **la utilización de datos masivos**, necesariamente recogidos mediante sistemas automáticos, muchas veces referenciados espacial y temporalmente; y (ii) **el empleo de modelos cuantitativos sofisticados** para identificar correlaciones y relaciones entre las diferentes variables, de forma que se puedan estimar el valor futuro de algunas de ellas a partir del valor presente de otras. Como complemento, también se pueden emplear modelos cualitativos.

Las aplicaciones de esta forma de gestión y análisis de datos se han multiplicado desde entonces: primero en grandes empresas que disponen del volumen de datos necesario (Amazon, eBay, etc.), más tarde en organizaciones que han instalado dispositivos de captura o modificado sus sistemas de información para tabular y almacenar los datos necesarios; y finalmente en organizaciones pequeñas, entre las que se encuentran las explotaciones agrarias.

En las siguientes referencias se encuentra más información detallada sobre el *Big Data*: Mayer-Schönberger y Cukier, 2013 y sobre las posibilidades de *Big Data* en agricultura: Tzounisa y Katsoulas, 2017; y Yifan y Wang, 2011.

2.7.5.2. Las redes de sensores y la Internet de las Cosas en agricultura

La **Internet de las Cosas** (*Internet of Things*, **IoT**) es una de las líneas de I+D más candentes en la actualidad en el campo de las comunicaciones de datos, especialmente en entornos en los que sensores y dispositivos inteligentes deben

suministrar información de manera continua. IoT es un entorno en el que los objetos, animales o personas están **equipados con identificadores únicos capaces de transmitir datos** a través de Internet sin la necesidad de interacciones humanas o informáticas. Cuando se asocian en redes de datos se habla de **Redes de Sensores Inalámbricos** (*Wireless Sensor Networks, WSN*) (Chaouchi, 2010).

El mercado de este tipo de redes se espera que crezca un 19% anual hasta el año 2025 según Market&Markets (2016), donde se menciona además que la **agricultura y la agroalimentación constituyen uno de los principales mercados futuros** de estas redes. En la actualidad están apareciendo cada vez más productos comerciales basados en WSN de bajo coste para la monitorización de cultivos. Normalmente, estos productos incluyen los ordenadores de captura de datos y medios de presentación, tanto por internet como por ventanas de iconos (Scada). Sin embargo, en líneas generales, **los análisis basados en la información proveniente de esas redes no están tan avanzados** aunque es lógico prever que en el futuro próximo mejorarán de manera significativa. Por ejemplo, mediante un sistema de este tipo es posible medir la evolución de la temperatura y la humedad en diferentes zonas de un viñedo, lo cual ayuda en la identificación anticipada de las zonas del mismo donde se puedan establecer focos primarios de mildiu, posibilitando con ello que se puedan llevar a cabo tratamientos preventivos localizados (Burrell, 2004).

La IoT no tiene por qué estar asociada forzosamente a una red dedicada, sino que puede formar parte de las nuevas generaciones de maquinaria agrícola, sistemas de riego e instalaciones fijas de las parcelas, combinando el suministro de datos con funciones específicas para esos elementos.

Por último, hay que destacar la tendencia creciente a incluir cámaras multiespectrales y sistemas de tratamiento de imágenes en las redes de sensores. Estos nuevos elementos aumentan de manera sustancial el valor de la información proporcionada y, a través de tratamiento de imágenes dentro de cada sensor, permiten identificar en tiempo real grados de maduración, marchitez y afecciones que provocan alteraciones en la coloración de los órganos de las plantas analizadas.

2.7.5.3. El *Big Data* social

La captura de datos agrícolas masivos no se restringe a redes de sensores WSN en una explotación, sino que se puede considerar a un nivel más global. Si se dispone de los datos relativos a prácticas agrícolas de todos los agricultores en una región amplia, junto con los datos físicos y de cultivo asociados, es posible identificar patrones de comportamiento, buenas y malas prácticas, y establecer

correlaciones con posibles afecciones vegetales. De esta forma, los agricultores se están convirtiendo en experimentadores de hecho, capaces de utilizar la información que ellos mismos proporcionan para desarrollar mejoras futuras.

La Unión Europea (UE), en su convocatoria SMART AKIS, impulsa este tipo de estructuras en proyectos que deben ser liderados por organizaciones colectivas (i.e., cooperativas, sindicatos, las Administraciones públicas, etc.) (Poppe, 2016). Un aspecto abierto es la propiedad legal de los datos capturados y sus futuros derechos de uso (Weber y Weber, 2016).

2.7.5.4. El *Big Data* y la Sanidad Vegetal

El *Big Data* es ya una realidad en agricultura, aunque su introducción está siendo gradual. A medida que bajen los precios de las redes WSN y que, además, se vean complementadas por sensores propios de las infraestructuras de riego y maquinaria de precisión, su presencia en las explotaciones agrícolas se convertirá en habitual. En resumen, la información *Big Data* de una explotación agraria puede provenir de las siguientes fuentes (Santiago, 2018):

- **Satélites.** Algunos profesionales de la fusión entre agricultura y tecnología han desarrollado satélites VHR que permiten obtener imágenes con resolución espacial de unos cuantos metros (GSD). Las visitas se pueden hacer de forma diaria y la información es capturada por un sensor integrado en un satélite artificial
- **Drones.** Permiten una alta precisión y resoluciones de pocos cm/píxel en las imágenes
- **Mapeado de suelos.** Permite conocer con detalle el 100% del suelo en el que se trabaja, así como identificar la variabilidad de texturas, composición y estructura del suelo. La información obtenida mediante esta tecnología permite identificar el terreno más apropiado y planificar de manera eficiente la plantación del cultivo, el riego, la fertilización y las enmiendas
- **Redes WSN en planta y suelo** (sondas de humedad, dendrómetros, temperatura, presión, etc.), que miden y controlan lo está ocurriendo realmente en determinadas plantas y zonas de la explotación agraria

Sin embargo, para su uso generalizado en la identificación de los agentes nocivos y de los síntomas de origen, que es de utilidad para las recomendaciones de GIP con vistas a la Sanidad Vegetal, es necesario un esfuerzo de I + D considerable. Afortunadamente, dicho esfuerzo ya se está iniciando para desarrollar los algoritmos de tratamiento y sistemas de identificación que empleen dicha in-

formación como base. A nivel social, existen varias líneas de I + D posibles para la prevención de plagas, enfermedades y malas hierbas de los cultivos, en base a información regional proveniente de sensores individuales, búsquedas por internet de los propios agricultores o interacciones en redes profesionales.

2.7.6. Teledetección y drones

2.7.6.1. Definición

La teledetección se define como **la técnica de medir un objeto o fenómeno a distancia sin entrar en contacto directo con el objeto en estudio**. En Agricultura, esta técnica ha estado ligada tradicionalmente al procesamiento de imágenes de satélite, mediante técnicas desarrolladas desde los años 80 del siglo XX.

En los últimos años, la aparición de **vehículos aéreos no tripulados (UAV) o drones** han revolucionado este campo, permitiendo nuevas posibilidades. Además, la aparición en el mercado de nuevas **cámaras multiespectrales** a precios asequibles permite obtener imágenes mucho más completas de los cultivos y emplear nuevos algoritmos de tratamiento para analizar su estado e identificar a los agentes nocivos y los síntomas que originan.

2.7.6.2. Estado actual de la teledetección agrícola mediante satélites

La observación sistemática de la tierra comenzó en 1960 con el lanzamiento del TIROS-I (*Television Infrared Observation Satellite I*), primer satélite meteorológico con una cámara de televisión de baja resolución espacial. El éxito de los satélites de esta serie llevó al lanzamiento de los satélites LANDSAT, desde 1972 a 1999, que aún están en funcionamiento. Los LANDSAT fueron los primeros satélites dotados de cámaras multiespectrales de alta resolución. Desde entonces, se han lanzado muchos nuevos satélites operados tanto por organizaciones públicas como privadas e incorporados al campo de la teledetección en diferentes campos, muy notablemente en la agronomía.

Para valorar la idoneidad de un satélite para determinadas tareas de teledetección, los expertos consideran sus características orbitales, la frecuencia de la toma de imágenes y las prestaciones de las cámaras de que dispone. Los costes operativos de uso de estas imágenes están bajando considerablemente desde hace 15 años, a medida que la competencia aumenta. Las imágenes tienen un precio unitario por km².

Según la *Union of Concerned Scientists*, en la actualidad hay más de 900 satélites orbitando la Tierra, de los que un 60% son de comunicaciones. El número de satélites de teledetección alcanza unos 120 aproximadamente y se incrementa constantemente porque todos los años son varios los satélites de este tipo que se lanzan al espacio. Como contrapartida, muchos de ellos también dejan de estar operativos. Entre los satélites más usados en la actualidad están los nuevos **SENTINEL-2 de la Agencia Espacial Europea** y el **DEIMOS-2**. En la actualidad, año 2018, existen aproximadamente **20 satélites que sirven imágenes sobre España**, que disponen de sensores multispectrales con una resolución inferior a 30m/píxel y con imágenes fáciles de adquirir, cada uno de los cuales presenta características y costes diferentes (Labrador y Evora, 2012).

2.7.6.3. Cámaras y sus características

La visión humana sólo es capaz de percibir una pequeña parte del espectro electromagnético, el espectro visible. La luz visible es solo una de las muchas formas de **radiación electromagnética** que existen, incluyendo las ondas de radio, el calor, los rayos ultravioleta, los rayos X, etc. En teledetección, lo normal es caracterizar a las ondas electromagnéticas por su longitud de onda en micrómetros (μm , 10^{-6} m) o nanómetros (nm, 10^{-9} m), es decir, por su posición dentro del espectro electromagnético.

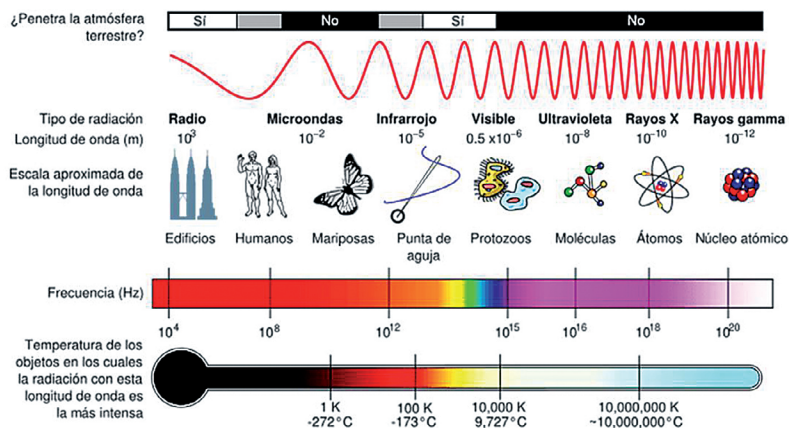


Figura 4. Características de las radiaciones que pueden ser captadas por los sensores instalados a bordo de los satélites de teledetección.

Los sensores instalados a bordo de los satélites de teledetección son capaces de detectar y grabar radiaciones de las regiones no visibles del espectro electro-

magnético, desde el ultravioleta hasta las microondas (Figura 4) (Agromática 2012). En relación con la agricultura, un aspecto clave es la **reflectancia**, es decir los **espectros de radiación que los cultivos reflejan o devuelven**. Al gráfico de la reflectancia espectral frente a la longitud de onda se le denomina **curva de reflectancia espectral**. La configuración de estas curvas permite extraer las características espectrales de una superficie y proporciona mucha información respecto de las características de la superficie reflectante; en concreto, sobre los cultivos y sus diferencias con suelos, edificios, u otros accidentes.

Otro factor clave para la valoración de un sensor es la **resolución**, es decir, la **superficie por pixel de las imágenes obtenidas**. En el caso de satélites, también es importante el ángulo en que se toman las imágenes y, por ello, la forma a la que responde cada pixel (Figura 5). El coste de las imágenes por satélite aumenta exponencialmente con la resolución deseada, estando disponibles comercialmente resoluciones de hasta 0,5 m aproximadamente. Por último, hay que tener en cuenta la **resolución temporal**, esto es la **frecuencia de actualización** de las imágenes obtenidas.

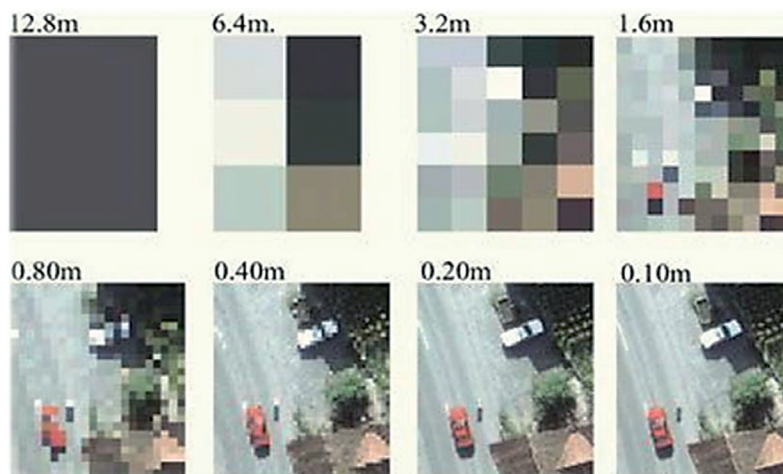


Figura 5. Resolución de imágenes obtenidas por teledetección mediante satélites.

2.7.6.4. Tratamiento de las imágenes

En los últimos años se han realizado avances significativos en los métodos de tratamiento de imágenes de teledetección relacionadas con la agricultura, mediante las cuales se ha pasado de la detección de cultivos, al cálculo remoto de la evapotranspiración, y al análisis de la sanidad de los cultivos, entre otros aspectos.

tos. Uno de los más relevantes y empleados a tales fines es el **Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI)** que es un indicador del vigor de la vegetación. El NDVI es adecuado para estimar el **vigor de crecimiento** durante las etapas iniciales de un cultivo y permite conocer a simple vista su estado actual de manera que éste podrá ser comparado con otra imagen temporal posterior con el fin de valorar su evolución en el tiempo (Figura 6).

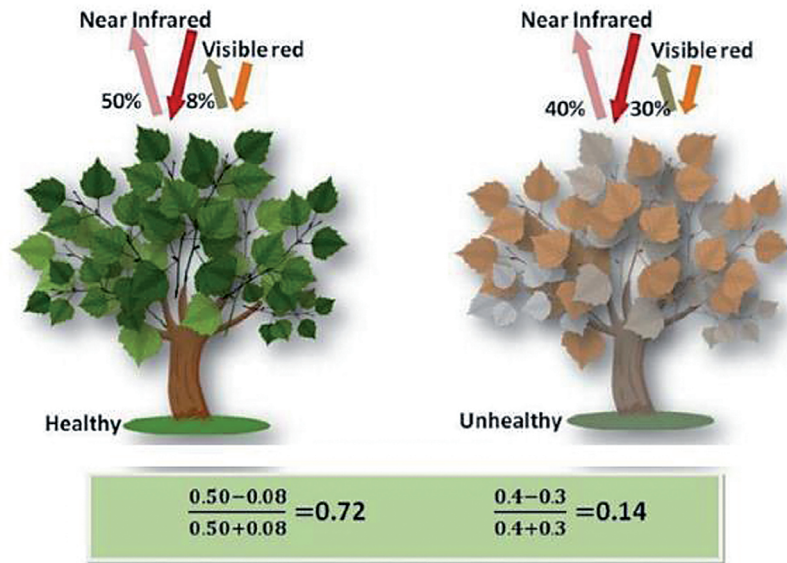


Figura 6. Esquema de la diferencia de la reflectancia roja e infrarroja de la copa de árboles sanos y afectados [Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI) alto por la mayor reflexión de radiación solar en el infrarrojo cercano y menor en el rojo].

El índice NDVI utiliza las bandas infrarrojas cercana y roja del espectro electromagnético para estimar un indicador adimensional que toma valores entre -1 y 1, de manera que valores cercanos a 1 indican vigor de la vegetación y los próximos a 0 indican ausencia de la misma (NASA, 2000). Este índice, de enorme utilidad, se complementa con otros más especializados como GNDVI, ENDVI o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) o VARI. En las aplicaciones específicas de utilidad para la Sanidad Vegetal, además del índice NDVI y sus índices complementarios se pretenden caracterizar los cambios espectrales asociados a NDVI originados por determinadas afecciones específicas (i.e., enfermedades, plagas, malas hierbas, estreses abióticos), lo cual solo es posible mediante investigación empírica que relacione imágenes de los cultivos sanos con la de cultivos afectados y obtenga curvas de regresión comparativas. La Figura 7 muestra unas curvas relativas a ellos tomadas de Moshoua et al. (2005).

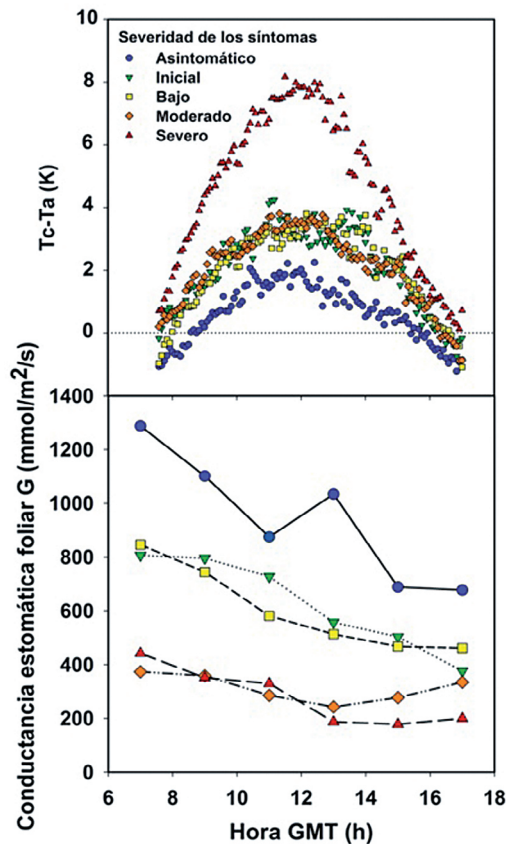


Figura 7. Uso de la evaluación de cambios espectrales para la detección de enfermedades en cultivos. Incremento en la diferencia entre la temperatura de la copa (T_c) y del aire (T_a), y disminución de la conductancia estomática foliar (G), en cultivos de trigo afectados de roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* (Moshoua et al., 2005.).

2.7.6.5. Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) o drones

Un dron es una plataforma que puede llevar diferentes tipos de sensores y que puede volar de manera autónoma y sin tripulación. Esta tecnología es una conjunción de los avances logrados en diferentes áreas como la robótica, la aerodinámica, la electrónica y otras.

Hay dos tipos básicos de drones: los multirotores de 4, 6 y 8 hélices y los de ala fija, cada uno de los cuales presenta ventajas y desventajas propias. Todos ellos están diseñados para poder llevar a bordo diferentes sensores que permitirán obtener datos e información clave sobre el estado de un cultivo en un determinado momento.

La principal ventaja de los drones respecto a las imágenes obtenidas por satélite es que la resolución es mucho mayor (hasta llegar a unos pocos cm²) de una forma muy efectiva en coste. Esta resolución, aplicada a explotaciones agrarias concretas, permite identificar los focos de enfermedades, plagas y malas hierbas con altísima precisión, facilitando su tratamiento fitosanitario de forma localizada.

En los últimos tiempos se están multiplicando tanto los UAV disponibles como las empresas que los operan y la gama de sensores espectrales que pueden llevar. En general, las herramientas de análisis y las metodologías son las mismas que las utilizadas en la teledetección por satélite.

En las siguientes referencias se encuentra información detallada sobre teledetección y drones: Cambell y Wynne, 2011; Chuvieco, 2010; Lillesand y Kiefer, 2007; Mahajan y Bundel, 2016; Moshoua et al., 2005; Quarnby et al., 1993; y Veroustraete, 2015.

2.7.7. Conclusiones y perspectivas futuras

En términos generales, la aplicación masiva de las técnicas informáticas en ámbitos productivos agrícolas se lleva intentando desde los años 80 del siglo XX. Sin embargo, hasta fechas recientes, los resultados obtenidos han ido muy por detrás de los esfuerzos realizados y de los avances en otros sectores productivos. Las razones de este retraso son complejas, básicamente culturales, estructurales, e industriales; pero esta tendencia ha empezado a cambiar hace 10 años aproximadamente. Desde entonces la informática y las comunicaciones (TICS) están entrando en distintos aspectos de la tecnología y las estructuras productivas agrícolas cada vez más profundamente. En este capítulo, se han explorado algunas de esas áreas.

Aunque es difícil realizar una prospectiva de futuro, a juicio de los autores, se pueden identificar las siguientes tendencias:

El teléfono móvil va a seguir siendo el terminal fundamental para acceder a los actores productivos agrícolas. Cualquier producto que no sea de tipo *mobile first* tendrá una fuerte penalización competitiva.

Al igual que en el resto de los sectores productivos, las redes sociales profesionales van a seguir creciendo, especializándose y ofreciendo servicios más complejos a las diferentes comunidades. En la agricultura, y en especial en la Sanidad Vegetal, el impacto de estas redes será mayor a medida que los colectivos estén bien estructurados en grupos y asociaciones.

Los sistemas de diagnóstico automático basados en visión están entrando en un grado de madurez considerable, tanto desde el punto de vista científico