



Sistemas de información Geográfica vía internet, para el manejo de cuencas y los desastres naturales

Depuración del efluente de un rastro municipal **mediante la aplicación del proceso Fenton**

AMEF comoparte del PPAP de nuevos productos en el área de juntas de calidad

La imagenología cerebral en la exploración de la sinestesia

El becerro digital (BD) como recurso educativo para la historia medieval y la filología histórica



ÍNDICE

Sistemas de Información Geográfica vía internet, para el manejo de cuencas y los desastres naturales

01

Depuración del efluente de un rastro municipal mediante la aplicación del proceso Fenton

10

AMEF como parte del PPAP de nuevos productos en el área de juntas de calidad

15

La imagenología cerebral en la exploración de la sinestesia

24

El becerro digital (BD) como un recurso educativo para la historia medieval y la filología histórica

31



Editorial

En esta publicación la Revista Reaxion presenta a nuestros lectores diversas reflexiones en torno al desarrollo e innovación de las áreas formativas, científicas y tecnológicas de la práctica educativa.

En el primer artículo se tiene el propósito de representar un conjunto de herramientas que permitan la construcción de un Sistema de Información Geográfica (SIG), planteando la propuesta de prevención de desastres naturales y su mitigación, por lo que se estima conveniente la construcción de dicho SIG con el objeto de tener una total precisión de la capacidad de los cauces, arroyos, presas y vasos de almacenamiento, para así evitar problemas de conducción de las aguas pluviales, titulado **“Sistemas de Información Geográfica vía internet, para el manejo de cuencas y los desastres naturales”**.

En el artículo **“Depuración del efluente de un rastro municipal mediante la aplicación del proceso Fenton”**, se plasma el uso eficiente del agua, así como el disponer de tecnologías que posibiliten su reúso, cumpliendo con la normatividad aplicable y el ahorro en el costo de reactivos.

“AMEF como parte del PPAP de nuevos productos en el área de juntas de calidad”, centra su interés en el área de ingeniería de calidad donde se realiza el Proceso de Aprobación de Piezas para Producción (PPAP), requerimiento indispensable para los proveedores de autopartes. El cual tiene como objetivo mejorar el proceso productivo en la fabricación de juntas de cabeza mediante la detección temprana de modos y efectos de fallas.

“La imagenología cerebral en la exploración de la sinestesia”, reflexiona sobre el fenómeno perceptivo de la sinestesia, la cual consiste en la unión de dos o más sentidos ante un solo estímulo, una respuesta sui generis de dos sensaciones cuando debería haber una sola de índole especializada. Fenómeno que a raíz de las investigaciones realizadas a partir del siglo XIX en los campos de la psicología y la neurología ha dejado de ser considerado como subjetivo para tomar un papel de característica fisiológica; se hace una breve revisión a la trayectoria de la exploración cerebral, así como algunos de los experimentos representativos que han contribuido al conocimiento objetivo del fenómeno perceptivo que conocemos como sinestesia.

Y para culminar con este número, presentamos una edición digital, libremente accesible *on-line* –de un códice medieval conocido como el *Becerro Galicano de San Millán*, denominado **“El becerro digital (BD) como un recurso educativo para la historia medieval y la filología histórica”**. Fuente imprescindible para el medioevo hispano, no sólo para los historiadores de gran parte del centro-norte peninsular (sobre todo, Castilla, Rioja, el País Vasco y Navarra) sino también para filólogos interesados en el latín tardío, el castellano temprano o el euskera. El cual fue diseñado para la comunidad investigadora, adecuándolo a las necesidades de los docentes y estudiantes del mundo medieval, hasta ahora algo al margen de la revolución tecnológica.

Exhortamos al lector a conocer las colaboraciones realizadas por especialistas, plasmadas en este primer número del Año 2, que aportan una enseñanza para el conocimiento.

**Comité Editorial
Revista Reaxión**



Comité Editorial

Liliana González Arredondo
Coordinador Editorial

José Arturo Segovia Rosales
Diseño Editorial y de Imagen

Daniel Israel Rodríguez Gante
Integrador Web

Blanca Patricia Sánchez Collazo
Corrector Editorial

Mónica Lucero López Rueda
Corrector Editorial

José Jesús Mendoza Rivas
Corrector Editorial en Lengua Extranjera

Rodrigo Paniagua Vargas
Representante de Área Económico Administrativo

Adriana López Barberena
Representante de Área Económico Administrativo

Francisco Javier Martínez Serrano
Representante de Área Electromecánica Industrial

Ricardo Miguel Sánchez Durán
Representante de Área Tecnologías de la Información y Comunicación

Daniel Cortés Martínez
Representante de Área Tecnologías de la Información y Comunicación

Pedro Andrés Meza Torres
Representante de Área Sustentabilidad para el Desarrollo

Azeneth Irazú Franco Bravo
Representante de Área Ingenierías



Sistemas de Información Geográfica vía Internet, para el manejo de cuencas y los desastres naturales

(Por Rosa Olivia Contreras Uribe, Ramiro Lujan Godínez, Juan Luis Caro Becerra, Adolfo Preciado Quiroz)

Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a las cuencas hidrológicas, han sido utilizados como herramientas para la determinación de sus características fisiográficas (superficie, pendiente, red de drenaje, forma, etc.) además de variables tales como pérdida de suelos, balances hidrológicos, planeación y gestión hidráulica, transporte de sedimentos y contaminantes, modelación hidráulica para la determinación de áreas de inundación y sequías, cambio climático, fronteras agrícolas, cambios de uso de suelo, deforestación etc. Este trabajo tiene el propósito de representar un conjunto de herramientas que permitan la construcción de un SIG además de contar con datos fisiográficos de la cuenca El Ahogado, planteando la propuesta de prevención de desastres naturales y su mitigación, por lo que se estima conveniente la construcción de dicho SIG con el objeto de tener una total precisión de la capacidad de los cauces, arroyos, presas y vasos de almacenamiento, para así evitar problemas de conducción de las aguas pluviales.

Palabras clave: Características fisiográficas, Inundación, Sequías, Cambio Climático, Desastres naturales. *“Geographic Information Systems (GIS) by Internet, for the management of river basins and natural disasters”.*

Abstract

Geographic Information Systems (GIS) applied to watersheds, have been used as tools for the determination of its physiographic features (surface, slope, drainage network, form, etc.) In addition to variables such as the loss of soils, water balances, management planning and hydraulic, sediment transport and pollutants, hydraulic modeling for the determination of areas of flood and drought, climate change, agricultural frontiers, changes in land use, deforestation, etc. This work is intended to represent a set of tools that enable the construction of a GIS in addition to data of the physiographic basin El Ahogado, raising the proposal of natural disasters prevention and mitigation, so that it is estimated that the construction of the SIG with the purpose of having a total accuracy of the capacity of the channels, streams, dams and storage vessels, to avoid problems of driving of the stormwater.

Keywords: Physiographic features, Flood, Drought, Climate Change, Natural disasters.

Introducción

El SIG es una tecnología que tiene una amplia variedad de usos en el entorno industrial y científico, sin embargo, lo primero que se necesita es una comprensión común sobre lo que es un SIG.

Una definición simple no es suficiente, ya que para hablar sobre un SIG fuera del contexto de alguna industria o uso específico, se necesita una herramienta más flexible para explicarlo, es decir un modelo. Es importante contar con información tanto espacial como temporal, tanto de las bases existentes como las que se diseñen a corto y mediano plazo en relación a este concepto; Tanto en México como a nivel internacional, los sistemas de información geográfica SIG aplicados a las cuencas hidrográficas han sido utilizados como herramientas para la determinación de las características fisiográficas de la cuenca (superficie, pendiente red de drenaje, forma) determinación del cambio de uso de suelo, balances hidrológicos, planeación y gestión hidráulica, transporte de sedimentos y contaminantes, modelación hidráulica para la determinación de áreas de inundación, sequías, cambio climático, fronteras agrícolas, cambios de uso de suelo, deforestación etc.

Los SIG son entendidos como el procedimiento de análisis espacial, ya que es una herramienta del tipo



sistémico que permite manejar información para facilitar el análisis de varias dimensiones en un mismo problema, de ahí surge la necesidad de construir un SIG, que nos permitirá interpretar los resultados en forma cartográfica y que resultará prácticamente útil para la toma de decisiones de políticas públicas ¹.

Matemáticas discretas, la geometría computacional, la teoría de gráficos, la topología, la cartografía, el procesamiento de imágenes, las bases de datos, los algoritmos y la computación, hace del SIG una herramienta formidable para solucionar problemas teóricos y prácticos, además de su potencial para lograr los resultados sustanciales en cada una de las áreas mencionadas.

En la Figura 1. *Descripción de un SIG*, se presenta un modelo holístico de un sistema de información geográfica, en la parte baja puede verse que el SIG almacena datos espaciales, conteniendo la información de sus atributos (de abajo hacia arriba) vinculada a una base de datos de almacenamiento del SIG, donde las funciones están controladas de manera interactiva por un operario con el fin de generar los productos informativos (que se muestran en las partes superiores de la realidad por medio de capas de información).



Figura 1. Descripción de un SIG.

Fuente: www.ocellus.se

Desde el punto de vista técnico, un SIG comprende varias etapas: captura de información, procesamiento, adaptación, corrección, generación de datos, consulta y producción de resultados ².

Un SIG en particular está diseñado para trabajar con datos georreferenciados con respecto a coordenadas espaciales o geográficas, es decir un elemento ubicado en el espacio mediante un sistema de coordenadas, el cual es descrito por medio de atributos que permite conocer su relación con respecto a otros elementos. En lo que respecta a la perspectiva del manejo de cuencas y los desastres naturales también ha cambiado el paradigma; no solo se refiere al conocimiento, análisis y protección de los recursos hídricos, sino también involucra la capacidad de suelos, la vegetación, el relieve, el impacto de la población, la infraestructura civil para la producción sustentable de bienes y servicios. De esta forma, las cuencas se convierten en unidades lógicas para la planeación y la gestión de los recursos naturales³. De ahí nace la necesidad de desarrollar el proyecto “Integrar la información geográfica digital para el manejo integral de cuencas y los desastres naturales, caso de la cuenca El Ahogado”.

La cuenca El Ahogado es sin duda la de mayor interés en la Zona Metropolitana de Guadalajara ZMG por el impacto ambiental y el cambio de uso suelo que ha sufrido, además del nivel de población que concentra, por ejemplo, en 1970 la población alcanzaba los 50 mil habitantes, mientras que en el 2000 alcanzaba cerca de los 500 mil habitantes⁴, cabe señalar que en la primera década del presente siglo la población tuvo un incremento del 250% respecto al año 1990, de hecho se tienen ya urbanizados en forma definitiva 117 km² pero existe la tendencia que la densidad de población en pocos años aumente, ocupando una superficie de



alrededor de 250 km², según las autoridades que están vigentes en los cinco municipios que conforman dicha cuenca⁵.

En este trabajo se ha instrumentado un SIG que contiene elementos innovadores como los dispositivos de medición y levantamiento, incluidos los receptores de GPS, imágenes de fotogrametría e instrumentos de levantamientos geofísicos, disponibles para tener acceso desde internet.

El objetivo de esta primera etapa consiste en obtener información geográfica estructurada que facilite el análisis y la evaluación de la problemática hidrológica en la cuenca El Ahogado, a partir de los datos almacenados en forma digital en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto se planearon cuatro etapas:

- a. Definición de los objetivos del proyecto
- b. Creación de la base de datos del SIG
- c. Desarrollo del análisis geográfico
- d. Presentación de resultados.

Por estas razones, es factible la construcción de un SIG, ya que es posible hacer cruces de información por medio de capas –hidrología, planes de uso de suelo, habitantes y viviendas- con la finalidad de evitar problemas de conducción de las aguas pluviales, que significa un enorme desperdicio del recurso hídrico debido a la falta de infraestructura hidráulica en puntos situados aguas arriba, así como el número de personas y viviendas que pueden llegar a ser afectados en distintos puntos geográficos, ahora y a futuro.

De lo anterior surge el tema de “*Ecología del paisaje*” o “*Manejo sustentable de los recursos naturales*” que tiene como sus principales prioridades de desarrollo, el considerar la heterogeneidad tanto a nivel espacial como a nivel territorial, con el objeto de facilitar tomas de decisiones por parte de quienes tienen a su cargo la implementación de políticas ambientales, así como, de la conservación biológica de los recursos naturales⁶.

Planteamiento del problema

Con el objeto de desplegar y realizar consultas espaciales y alfanuméricas mediante el uso de un SIG, se ha elegido a la cuenca El Ahogado, ubicada al sureste de la Zona Metropolitana de Guadalajara, dentro del polígono de la avenida López Mateos y la carretera Guadalajara-Chapala, la cual, y por ser una de las cuencas que se distingue por sus especiales características y ubicación es objeto de una intensa actividad productiva de índole agrícola e industrial, lo cual deviene de una fuerte presión sobre el recurso hídrico ya que la cuenca se encuentra localizada en un clima seco la mayor parte del año; los meses de lluvia son de junio a septiembre, presentándose áreas en que la precipitación no llega a los 700 mm, lo que indica que los escurrimientos superficiales reducidos impacten en la cobertura de las necesidades en cuanto al abastecimiento de agua potable y de buena calidad, al realizar el balance hidrológico de aguas superficiales en dicha cuenca.

La cuenca El Ahogado forma parte del afluente del río Santiago; su superficie tiene una extensión territorial alrededor de 520 km², abarcando los municipios de: Tlajomulco, Zapopan, Tlaquepaque, El Salto y una porción de 30 hectáreas de Guadalajara. Su morfología es alargada, con su mayor eje en el sentido este-oeste con una extensión de 32 km, y un eje menor en el sentido norte-sur con una extensión de 17 km. La cuenca El Ahogado, es una cuenca de alta complejidad ya que en ella se registran grandes presiones por el recurso agua, al estar asentada en ella la conexión que une en sus extremos a uno de los polos industriales más importantes en el desarrollo del país: la ciudad de Guadalajara que es la segunda en importancia en el país por su extensión y densidad de población, confiriéndole este hecho el carácter de una cuenca eminentemente urbana, además de que el acelerado crecimiento industrial desató otro fenómeno que se refleja de manera alarmante con el problema de la escasez del agua: el de su contaminación⁷.



Metodología

La información procesada y la elaboración de mapas temáticos, se relacionan con elementos de la infraestructura hidráulica de la cuenca, ubicación y registro de estaciones hidrométricas y climatológicas, subcuencas y red de drenaje, división estatal y municipal, vías de comunicación, presas, distritos de riego y actividades socioeconómicas.

El objetivo de este proceso es situar en el lugar más adecuado cada una de las actividades previstas en la ordenación del territorio, tales como: uso residencial e industrial, cultivos, cambios de uso de suelo, etc.

En la fase no geográfica del proceso de planificación se deben de establecer las metas de superficie que se deben de alcanzar en la región de estudio en cada uno de estos usos de suelos. Es decir, determinar la cantidad de superficie en la región que se debe de destinar para cubrir los objetivos pretendidos, a un nuevo uso residencial o a un uso industrial. Para poder llevar a cabo de manera estos objetivos, se calcula la capacidad de acogida de cada “punto” del territorio para cada una de las actividades anteriores. El concepto de “punto” del territorio varía en función del tipo de representación que se esté empleando en el proceso, y es equivalente al pixel de un SIG raster.

La capacidad de acogida en cada punto depende, como ya hemos mencionado, de dos cuestiones:

1. La aptitud intrínseca del territorio (en ese punto) para recibir esa actividad.
2. El impacto potencial que se puede producir en ese punto del territorio al situar allí dicha actividad.

Aplicando la metodología propuesta por (Valdivia Cruz, 2012)⁸, que consiste en la generación de imágenes de las variables susceptibles de ser representadas espacialmente con el auxilio de procedimientos de interpolación espacial. Las variables estudiadas son:

- a. **Climáticas:** precipitación, evaporación y temperatura
- b. **Hidrológicas:** escurrimiento superficial
- c. **Relieve:** análisis de curvas de nivel, orientación de laderas, pendiente topográfica

En el área de análisis socio-económico se integró la caracterización o descripción de todos los municipios asentados en la cuenca, con información de mayor actualidad disponible⁹, procurando contar con un marco retrospectivo desde los años 80, esto con la finalidad de que los interesados en sus consultas puedan determinar la tendencia del sistema ambiental de la Cuenca; de igual manera se avanzó en una especie de diagnósticos o problemática ambiental, al determinar las áreas críticas en la cuenca, mediante la interrelación de las variables e indicadores de los sistemas natural, social y productivo.

Para entender mejor el concepto, las variables seleccionadas estuvieron encaminadas a ofrecer información que facilite la explicación de fenómenos que inciden directamente en la cantidad y calidad del recurso agua, tales como: superficies que ocupan actividades productivas; distribución de la población tanto espacial como temporal; además de la estructura económica, para lo cual se conformaron a nivel de estados y municipios que integran la cuenca, las siguientes variables:

- Población por municipio y año de censo
- Condición de alfabetismo por municipio y año de censo
- Migración por municipio y año de censo
- Condiciones de vivienda por municipio y año de censo
- Principales ramas industriales en la cuenca
- Principales ramas industriales por municipio y sus características básicas
- Generación de residuos industriales peligrosos por ramas
- Ramas generadoras de residuos industriales por municipios
- Usos agrícola por municipio

Las relaciones existentes entre las variables, se expresaron como indicadores en forma de porcentajes y tasas, de forma tal que se evidenciara la dinámica de los fenómenos migratorios a través del tiempo:

- Incremento poblacional por municipio (1990-2000-2010)
- Promedio de incremento por municipio (1990-2010)
- Comisión porcentual de alfabetismo por municipio (1990-2000-2010)
- Comisión porcentual de migración por municipio (1990-2000-2010)
- Promedio de incremento migratorio por municipio (1990-2010)

Para caracterizar los fenómenos de interés asociados a la presión sobre el recurso agua, se determinaron rangos dando lugar a señalamientos de las áreas críticas con base en el incremento poblacional y la actividad agroindustrial. Tanto las variables, como los Indicadores y rangos, se seleccionaron con la finalidad de señalar patrones de dispersión de la población, tasas del crecimiento poblacional, infraestructura urbana, flujos migratorios y tipificación de la estructura productiva a nivel de toda la cuenca.

Resultados

El desarrollo de la integración de la base de datos se efectuó con el programa ArcInfo GIS 10.0 ESRI 2010¹⁰, a partir del cual se logró un diseño completo donde se planearon los modelos conceptual, lógico y físico que fueron de gran ayuda en el desarrollo de las aplicaciones.

Sobre la base de esta metodología se obtuvieron resultados tales como: hidrología, cobertura vegetal, densidades de población, etc., donde se muestra la problemática de la cuenca respecto a la escases de agua debido al abatimiento del acuífero con respecto a los niveles estáticos, para ello se utilizó un modelado espacial y vistas tridimensionales con el programa Arc-view 10.0¹¹, obteniéndose con ello mapas claros y presentaciones visuales que reflejaron el grado de sobreexplotación a la cual ha sido sometido el acuífero.

Para determinar las posibles relaciones entre los atributos ambientales y la disponibilidad de agua con la distribución de la vegetación (como se muestra en la Figura 2. Imagen Landsat, de la cuenca El Ahogado), que son en este caso imágenes Landsat de varias temporadas, además de compilar información tanto geográfica como cartográfica, para analizar las características fisiográficas de la cuenca con el objeto de calcular las avenidas máximas registradas que se generan en la cuenca El Ahogado, ya que precisamente la construcción del SIG permitirá:

- El análisis de los datos antes mencionados.
- Visualización, despliegue y consulta.
- Delimitación de polígonos de las zonas afectadas por el tránsito de avenidas sobre los cauces (llanuras de inundación).
- Modelo superficial que permitirá el análisis interactivo de áreas de almacenamiento que escurran a un punto escogido además de las zonas aguas abajo afectadas.



Figura 2. Imagen Landsat, de la cuenca El Ahogado, donde la línea amarilla, nos indica el límite de la cuenca, y la línea roja nos muestra la zona más baja y vulnerable a las inundaciones. Esc. 1: 50000,
Fuente: Instituto Territorial del Estado de Jalisco, 2012.

Para la elaboración de nueva información se integraron datos base de cartografía, así como de planimetría y ortofotos, todos ellos obtenidos de la dependencia federal denominada Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI. Estas imágenes nos facilitaran el desarrollo de actualización de subcuencas, microcuencas y el establecimiento de vertido de aguas en las partes más bajas de la cuenca que es la zona vulnerable tanto a las inundaciones como los desastres naturales, además de la obtención de datos cuantitativos sobre indicadores de población y vivienda del último censo en cada subcuenca.

A partir del modelo digital de elevaciones, se crearon mapas de superficie general, tales como: análisis de altimetría, escurrimientos, pendientes, topoforma, etc. (como se muestra en la Figura 3. Altimetría de la cuenca El Ahogado), esto con el objeto de encontrar factores que favorezcan a la retención del agua para los procesos biológicos como son la presencia de pendientes topográficas suaves, es decir, valores altos en atributos puntuales de relieve nos indican la presencia de huecos, hondonadas y pasos; además de valores bajos en atributos nos marcan una superficie de relieve bajo como son los almacenamientos.

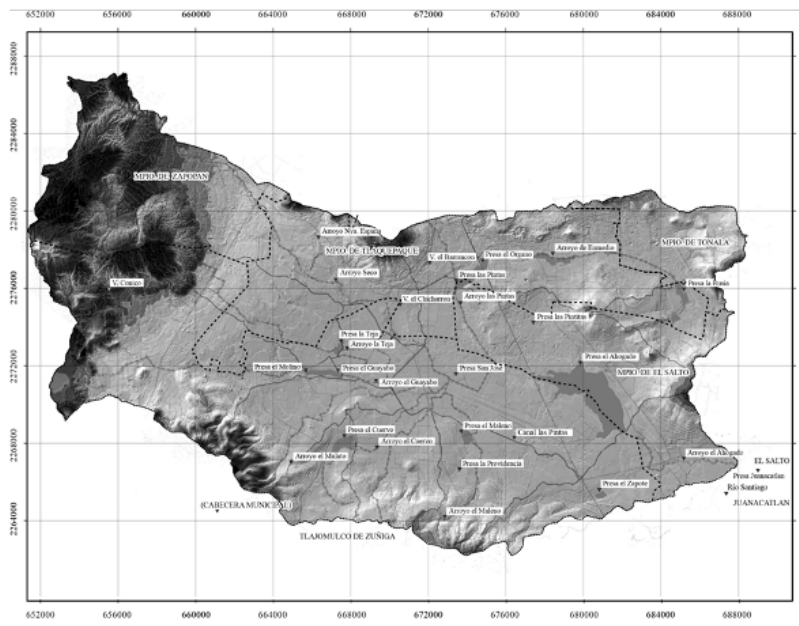


Figura 3. Altimetría de la cuenca El Ahogado (Escala 1:50000).
Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 201

Además el SIG en la cuenca El Ahogado brindará datos sobre la región principalmente en donde actualmente tiene su mayor expansión, que es el sur de la cuenca y que abarca los poblados que se encuentran en la ribera de la Laguna de Cajititlan, tales como: el poblado que lleva el mismo nombre, Cuexcomatitlan, San Miguel Cuyutlán, San Lucas Evangelista y San Juan Evangelista. En otras palabras, es una herramienta que permite modelar con diferentes patrones de escurrimiento, hasta donde tendrán la capacidad útil para el buen funcionamiento las presas, vasos y arroyos existentes (y en donde no), para así poder reconocer los puntos vulnerables a las inundaciones y en donde tendríamos problemas tanto de protección a la vida como de su patrimonio.

Conclusiones

Desde el punto de vista técnico, que se ha tomado para el desarrollo de este trabajo, se considera que se han cumplido cada uno de los puntos anteriormente enunciados.

Definitivamente se ha construido un SIG para el manejo de cuencas y los desastres naturales ya que constituyen un instrumento que permite ligar información ya existente, esto significa que los archivos alfanuméricos y espaciales podrán ser consultados a través de una página web, aunque aún no está disponible la interfaz para que los usuarios finales puedan consultar por si mismos el propio SIG, se ha podido constatar que las herramientas tanto de consultas como de análisis son sencillas y un entrenamiento corto es suficiente de acuerdo a las necesidades del usuario.

La idea de contar con un inventario de los recursos naturales en la cuenca, así como elaborar los mapas correspondientes a los trabajos de producción, modernización y actualización de la información geográfica en cumplimiento de los objetivos y metas, se ha permitido implementar el SIG integrado por tres subsistemas: Condiciones Físicas, Recursos Naturales y Asentamientos Humanos.

El subsistema de recursos naturales ofrece información sobre localización y magnitud de los recursos geológicos; uso actual del suelo y estado de la vegetación; aprovechamientos hidrológicos, tanto en calidad como en cantidad y usos del agua, mientras que las condiciones físicas nos muestran características físicas, químicas y morfológicas de los suelos (edafología).

La información hidrológica, aborda información de aguas subterráneas y superficiales; en la primera se analizan los diferentes materiales que cubren la corteza terrestre, suelos o rocas y sus proyecciones inmediatas hacia el subsuelo, el objetivo es definir el rendimiento o posibilidad de que dichos estratos contengan agua de buena calidad; en lo que respecta a la información de aguas superficiales, se consideran factores tales como suelo, vegetación y pendiente sobre el terreno, que habrá de determinar el escurrimiento de agua de lluvia y su comportamiento sobre la superficie de la corteza terrestre.

En lo relacionado con los asentamiento humanos se puede decir en síntesis, que el crecimiento urbano anárquico modificó el sistema hidrológico e hidrográfico natural de la cuenca El Ahogado; aunado a esto, muchos de las nuevos desarrollos urbanos se establecen en áreas donde son totalmente vulnerables a las inundaciones, ya que se encuentran asentados en zonas topográficamente bajas por lo que aumenta el riesgo por inundación, de ahí surge la importancia y necesidad de establecer un SIG para el manejo de cuencas y los desastres naturales.

Referencias

1. MOREIRA, M. A. "Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la diversidad biológica". Revista Ciencia y Ambiente. 1996, pág. 80-86.
2. ESPINOZA SUMARAN, G.H. Ponencia: "Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Ing. Civil". En UNIVERSIDAD NACIONAL "HERMILIO VALDIZAN". Región del Huanuco, Perú, 2010.
3. JIMÉNEZ NAVA, F. J. Ponencia: "Integración de Información Geográfica digital para el manejo integral de cuencas. El caso de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago". En Congreso de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica. 2002.
4. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). 2010.



5. MENDOZA PÉREZ, C. y VENEGAS HERRERA, A. C. “Desbordado crecimiento de la cuenca El Ahogado. Guadalajara, Jalisco”. Revista: Gaceta Universitaria . 2003.
6. MOREIRA, M. A. op cit.
7. McCULLIGH, Cindy. “Respirar veneno en Juanacatlan y El Salto Jalisco”. Periódico La Jornada, suplemento: La jornada Ecológica. Guadalajara, México, 2006.
8. VALDIVIA CRUZ. “Los Sistemas de Información Geográfica para la gestión del fondo habitacional”. Santi Spíritus. Revista Científica INFOCIENCIA. Cuba, 2012.
9. **Boletín de investigación Núm. 256/13** [Aguascalientes, México]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013.
10. Sistemas de Información Geográfica, S.A. de C.V. SIG. 2013.
11. Ibid.

Bibliografía

- **Boletín de Investigación Núm. 253/13** (2013). Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, Aguascalientes, Ags. <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/boletines/boletin/Comunicados/Especiales/2013/Junio/comunica6.pdf>
- Casanova A. R., Sosa R., Rodríguez S., **SIGAP Sistemas de Información Geográfica para el Análisis Prospectivo** (2012), Montevideo, Uruguay: 8th FIG Regional Conference 2012, Surveying Towards Sustainable Development, Montevideo, Uruguay, Noviembre 2012. http://www.fig.net/pub/uruguay/papers/ts04d/TS04D_casanova_sosa_et_al_6451.pdf
- CEAS (2013), **Comisión Estatal del Agua de Jalisco, Cuenca El Ahogado**. <http://www.ceajalisco.gob.mx/ahogado.html> (julio del 2013)
- **Centro virtual de Información del Agua**, (2013). <http://www.agua.org.mx> (noviembre del 2013)
- Cotler H. Caire G., (2009), **Lecciones aprendidas del manejo de cuencas**, México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INSEMARNAT).
- Cruz Hernández A. G. (1996). **Evaluación Preliminar de los riesgos naturales de Ciudad Guzmán, Guadalajara, Jalisco.**: Tesis de licenciatura del Centro Universitario de Ciencia Biológicas y Agropecuarias CUCBA.
- Espinoza Sumaran G. H. (2010). **Ponencia sobre: Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Ingeniería Civil**, UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN” Región del Huánuco, Perú. <http://www.slideshare.net/GERARDOHENRY/ponencia-sigok>
- ESRI (2013), **Sistema de Información Geográfica S.A. de C.V.**, Empresa Mexicana líder en aplicaciones geográficas. <http://www.sigsa.info/ESRI>
- González Piedra J. I. (2004) **El manejo de cuenca en Cuba: Actualidades y Retos**. Pag. 41-49. Compiladora Cotler H. El manejo integral de Cuenca en México, Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, (2010), **Carta Topográfica F1365, Guadalajara Oeste y F13D66 Guadalajara Este Escala 1:50000**. <http://www.inegi.org.mx> (marzo del 2014)
- **Manual de manejo de cuencas** (2002). Módulo 9 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica, San Salvador, El Salvador: Word Vision.
- Marín Stillman L. E. (2008). **El Agua en México: Retos y Oportunidades**. México D.F.: Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM.
- Maskrey A. (1998) **La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al análisis de riesgo en América Latina**. Lima, Perú: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina LA RED, Revista Científica NAVEGANDO ENTRE BRUMAS.
- Maskrey A., Ángeles A, Bhatt M. (2004). **Un informe mundial, La reducción de riesgos de desastres un desafío para el desarrollo**, New York, EEUU: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, Dirección de Prevención de Crisis y de Recuperación.
- Mc Culligh C (2006) **Respirar veneno en Juanacatlan y El Salto Jalisco. Guadalajara, Jalisco.**: Periódico: La Jornada, Suplemento: La Jornada Ecológica. <http://www.jornada.unam.mx/2006/09/25/eco-c.html>
- Mendoza Pérez C., Venegas Herrera A. C. (2003). Título: **Desbordado crecimiento de la cuenca El Ahogado. Guadalajara, Jalisco.**: Revista: Gaceta Universitaria, Universidad de Guadalajara. <http://www.gaceta.udg.mx/Hemeroteca/paginas/304/304-20.pdf>
- Moreira, A (1996). **Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica**, Santiago, Chile: Revista: CIENCIA Y AMBIENTE: Ambiente y Desarrollo, pag: 80-86.
- Narváez L, Lavell A., Pérez Ortega G. (2009), **La gestión del riesgo de desastres, Un enfoque basado en procesos**, San Isidro, Perú: Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina-PREDECAN, Secretaría General de la Comunidad Andina.
- Jiménez Nava F. J., (2002), México, D. F.: **Integración de Información Geográfica Digital para el manejo integral de cuencas. El caso de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago**, Revista: Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica. <http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos02-2/SRSIG02-2.pdf>
- Priego Santander A., Cotler H. (2004). **El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: El caso de la cuenca Lerma-Chapala**. Pag. 63-75. Compiladora Cotler H. El manejo integral de Cuenca en México, Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- PNUD, SEPC Chiapas (2012), **Manual para la prevención de Riesgos y Desastres en proceso de recuperación y desarrollo Chiapas-México, Tuxtla Gutiérrez, Chis.**: Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo, Programa de Manejo de Riesgos en Chiapas. 3
- Valdivia Cruz J. C. (2012). **Los Sistemas de Información Geográfica para la gestión en el fondo habitacional**. Santi Spíritus, Cuba: Revista Científica INFOCIENCIA. <http://infocencia.idict.cu/infocencia/article/view/120/110>



- Westen C., Montoya de Horn L., Vargas Franco R., **Aplicación del SIG para la evaluación de amenazas y riesgos: Tegucigalpa, Honduras, Enschede**, The Netherlands: Organización de las Naciones Unidas para la Cultura y las Artes UNESCO, Programa de Acción Regional para Centro América (RAPCA).
- Westen C., Vargas A. (2004). **Introducción a los Sistemas de Información Geográfica SIG**, Enschede, The Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). <http://cidbimena.desastres.hn/docum/unesco/Amenazas/Presentaciones%20Powerpoint/01%20Introduccion%20SIG/Introduccion%20SIG.PDF>



Depuración del efluente de un rastro municipal mediante la aplicación del proceso Fenton

(Por Javier Páramo Vargas, Juan Manuel Peralta Hernández, Eloy Isarain Chávez)

Resumen

Fenton, es uno de los procesos de oxidación avanzada, basado en el uso de radicales hidroxilo para la oxidación química de contaminantes, fue evaluado para la depuración del efluente de un digestor anaerobio de un rastro.

El efluente presenta valores iniciales de demanda química de oxígeno (DQO) en DQO_{total} de 1159.2 mg/L y DQO_{disuelta} de 342.9 mg/L. El proceso oxidativo fue monitoreado mediante la DQO_{disuelta} determinada por el método de reflujó cerrado. Las concentraciones iniciales de sulfato ferroso (FeSO₄·7H₂O) y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) fueron las variables estudiadas, con valores de 0.5, 1 y 2 mM en el primer caso y de 200, 300 y 500 mg/L para el último.

Se evaluó la coagulación y la oxidación química, participantes en la remoción de la DQO, proceso que resultó ser muy rápido, pues en 10 minutos se alcanza una condición final estable, con una alta eficiencia en la remoción de la DQO total, del 95%, que permite el cumplimiento normativo.

Palabras clave: Reactivo de Fenton, procesos de oxidación avanzada, aguas residuales de rastro.

Abstract

The Fenton process, which is one of the advanced oxidation processes and is based on the use of hydroxyl radicals for the chemical oxidation of pollutants, was evaluated for the depuration of the effluent of an anaerobic digester of a slaughterhouse.

Effluent has initial values of chemical oxygen demand (COD) of: COD_{total} of 1159.2 mg/L and COD_{dissolved} of 342.9 mg/L. The oxidative process was followed by the COD_{dissolved} determined by the method of closed reflux. Ferrous sulphate (FeSO₄·7H₂O) and hydrogen peroxide (H₂O₂) initial concentrations were the variables studied, with values of: 0.5, 1 and 2 mM in the first case and values of 200, 300 and 500 mg/L for the last one.

The coagulation and chemical oxidation were involved in the removal of COD, which was a very fast process. It was obtained a high efficiency in the total COD removal of 95%, which allows the regulatory compliance.

Introducción

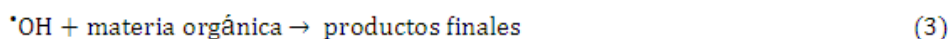
El agua es un valioso recurso y según estadísticas, la fracción disponible para ser usada por el hombre (agua dulce en ríos, lagos y acuíferos) representa el 0.001% de agua estimada del planeta, equivalente entre 9000 y 14000 km³ al año ^[1]. Por ello es muy importante hacer un uso eficiente de este recurso reduciendo el consumo del mismo, así como el disponer de tecnologías que posibiliten su reúso que cumplan con la normatividad aplicable.

En este marco de necesidades y oportunidades de acción, surgen proyectos ambientales, como el caso del rastro municipal de la ciudad de León, Guanajuato en México. En el país hay 1141 centros de sacrificio de especies pecuarias, de los cuales 55 se ubican en el estado de Guanajuato y representa sólo el 4.8%. Cinco de estos centros de sacrificio son establecimientos de tipo inspección federal ^[2].

El agua residual que se genera en estos centros se caracteriza por su alto contenido de materia orgánica y sales [2, 3]. En este proyecto se evaluó la depuración del efluente del digestor anaerobio instalado en el rastro de León, mediante el proceso Fenton, proceso de oxidación avanzada basado en la oxidación química mediante radicales hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), que tienen un alto potencial de reducción ($E^\circ(\bullet\text{OH}/\text{H}_2\text{O} = 2.8 \text{ V/Standard Hydrogen electrode SHE})$) [4]. Estos radicales pueden ser generados mediante el uso de distintas sales de metales de transición [5]; en esta reacción, denominada reacción de Fenton, se da la disociación del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en medio ácido, formando radicales hidroxilo, siendo el ión ferroso Fe^{2+} , el que la inicia y cataliza (reacción 1) [6, 7].



Los radicales hidroxilo pueden reaccionar entonces con los iones ferrosos, materia orgánica (reacciones 2 y 3) [7], formar radicales menos oxidantes como el hidroxiperoxilo al reaccionar con el peróxido de hidrógeno (reacción 4) [7] e incluso generar nuevamente peróxido de hidrógeno (reacción 5) [7].



Como se mencionó anteriormente, el proceso Fenton se lleva a cabo en medio ácido [5], encontrándose en este caso en ensayos previos el pH de 3 como el más adecuado, ya que también favorece la existencia de la especie Fe^{2+} . Bajo esta condición se lleva a cabo la formación de hidroxocomplejos férricos $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]$ [8], que dan al proceso Fenton la capacidad de coagulación. El equilibrio químico es muy importante, pues para favorecer la condición de oxidación química debe existir en exceso H_2O_2 . Hoy día este tipo de tecnologías tiene un gran desarrollo en aplicaciones con contaminantes recalcitrantes [4], pero en la década de los 80's tuvo un gran desarrollo en aplicaciones a aguas residuales con contaminantes orgánicos [9] y últimamente ha crecido el uso combinado como pretratamiento o postratamiento [10, 11].

El presente estudio evaluó la influencia de la concentración inicial de peróxido de hidrógeno (H_2O_2)₀ y de ión ferroso $[\text{Fe}^{2+}]_0$ en el proceso Fenton aplicado para depurar el efluente del rastro de León, considerando experiencias anteriores con aguas similares [3, 12], a fin de poder desarrollar una propuesta tecnológica.

Materiales y reactivos

El agua con que se llevaron a cabo los experimentos, se tomó en la tubería de salida del digestor anaerobio, preservando las muestras a 4°C. La demanda química de oxígeno (DQO) se estableció como la variable para evaluar el proceso de depuración y se analizó conforme a la norma (NMX-AA-030/2-SCFI-2011), midiendo la fracción disuelta (DQO_d) para monitorear el proceso y la total (DQO_t) al inicio para fines comparativos.

El sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (99.9%), el peróxido de hidrógeno (30%) y otros reactivos, fueron grado analítico y adquiridos a Karal S.A. de C.V. La medición de pH se realizó con un equipo HACH Sension 156, las determinaciones colorimétricas fueron con un espectrofotómetro UV Evolution 300 UV-VIS, marca Thermo Scientific y para la DQO se usó un reactor de DQO, modelo HI839800 marca Hanna Instruments.

La determinación de hierro se basó en la medición de la absorbancia con el espectrofotómetro de UV a una $\lambda = 508 \text{ nm}$ del complejo formado entre el Fe^{2+} y la orto-fenantrolina, calculando la concentración mediante una curva de calibración [13]. La determinación de peróxido de hidrógeno se basó en la formación de un



complejo con oxisulfato de titanio, la medición espectrofotométrica de la absorción a una $\lambda = 406 \text{ nm}$ ^[14] y la determinación de concentración mediante una curva de calibración.

Experimentación

Las reacciones tipo Fenton se llevaron a cabo en un reactor de 1 L, trabajando por lotes y monitoreando periódicamente el curso del proceso (tiempos de 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos). La elección de los niveles de trabajo para las variables de Fe^{2+} y H_2O_2 , se hizo considerando la caracterización del efluente y la estequiometría de la reacción de descomposición del H_2O_2 .



Así, se estudió el comportamiento de la concentración de la DQOd, con valores de Fe^{2+} de 0.5, 1 y 2 mM, valores de H_2O_2 de 200, 300 y 500 mg/L. En cada muestra tomada se midió la DQO_d , Fe^{2+} y H_2O_2 .

Resultados

La tabla I, muestra los resultados de la caracterización del efluente del rastro en los parámetros de: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), DQO_t, DQO_d, sólidos suspendidos totales (SST), conductividad y pH. Su análisis indica un alto contenido de materia orgánica, sólidos suspendidos y sales.

DBO ₅ (mg/L)	DQO _t (mg/L)	DQO _d (mg/L)	SST (mg/L)	Conductividad (mS/cm)	pH
205.2	1159.2	342.9	530	6.0	7.8

Tabla I. Caracterización de las aguas residuales del rastro.

En la figura 1 se muestra la interacción de los efectos del $[\text{Fe}^{2+}]_0$ y $(\text{H}_2\text{O}_2)_0$ en la remoción de la DQOd, mientras que en la Figura 2 se muestra el comportamiento de la DQO_d en la mejor condición de tratamiento.

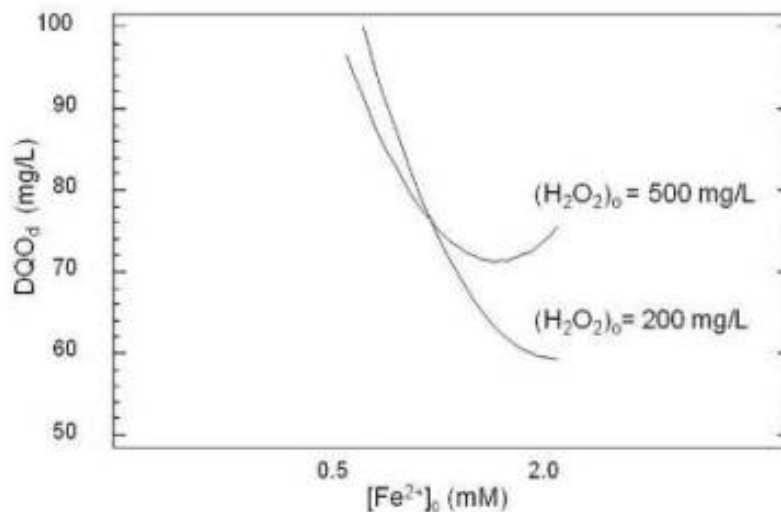


Fig. 1. Interacción de los factores $[\text{Fe}^{2+}]_0$ y $(\text{H}_2\text{O}_2)_0$ en el tratamiento Fenton. Condiciones experimentales: $\text{DQO}_{o(d)}$ de 342.9 mg/L y pH de 3.

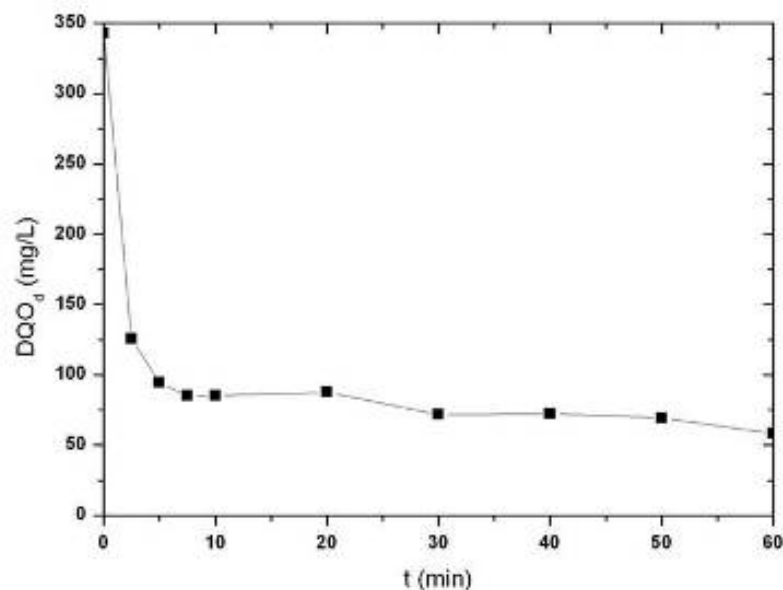


Fig. 2. Evolución del proceso oxidativo para una $DQO_{o(c)} = 342.9 \text{ mg/L}$, $\text{pH} = 3$, $[\text{Fe}^{2+}]_o = 2 \text{ mM}$ y $(\text{H}_2\text{O}_2)_o = 200 \text{ mg/L}$.

Al inicio se dio una rápida remoción de la DQO, por la generación de radicales $\bullet\text{OH}$ y iones Fe^{3+} (reacción 1), alcanzándose valores casi estables de DQO_d en 10 minutos, consistente con la rápida reducción que se observó de iones Fe^{2+} y H_2O_2 . Las diferentes especies de hierro se redujeron drásticamente, lo cual indica la importancia del efecto de coagulación por la formación de hidroxocomplejos férricos que retiraron el hierro de la solución, generando en promedio 100 ml/L de sólidos sedimentables finales. Por otra parte, la rápida disminución observada de la concentración de H_2O_2 , hizo evidente la oxidación química, a través del proceso Fenton (reacciones 1 a 5). Al aplicar el tratamiento Fenton al efluente problema los valores de la DQO_d más bajos se obtuvieron con una $[\text{Fe}^{2+}]_o$ de 2 mM para los diferentes niveles de H_2O_2 y fueron: 58.4 mg/L ($(\text{H}_2\text{O}_2)_o$ de 200 mg/L), 82.2 mg/L ($(\text{H}_2\text{O}_2)_o$ de 300 mg/L) y 72.7 mg/L ($(\text{H}_2\text{O}_2)_o$ de 500 mg/L). Lo anterior se traduce a una mejora en la calidad del agua, que se confirma con lo mostrado en la Figura 3. Los mejores resultados se obtuvieron con el menor valor de $(\text{H}_2\text{O}_2)_o$, mientras que al aumentar su concentración es mayor la reacción no útil entre los radicales $\bullet\text{OH}$ formados y el H_2O_2 residual, por ser esta reacción más rápida como lo indican sus constantes cinéticas (reacción 1, $K=70 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ y la reacción 4, $K=3.3 \times 10^7 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$) [15]; además de que los radicales hidroxiperoxilo generados (reacción 4), tienen menor poder oxidante que los radicales $\bullet\text{OH}$.



Fig. 3. Tratamiento Fenton: efluente original (izquierda); al centro (efluente tratado con $[\text{Fe}^{2+}]_o = 1 \text{ mM}$ y $(\text{H}_2\text{O}_2)_o = 300 \text{ mg/L}$) y a la derecha (efluente tratado con $[\text{Fe}^{2+}]_o = 2 \text{ mM}$ y $(\text{H}_2\text{O}_2)_o = 200 \text{ mg/L}$).

Por otra parte, los ensayos realizados con concentraciones iniciales de Fe^{2+} y H_2O_2 fuera de los intervalos experimentales trabajados, mostraron la correcta elección de los mismos; pues a valores menores la calidad del agua tratada disminuía, mientras que en el caso contrario la calidad del agua tratada se mantenía práctica-



mente constante, pero con mayores concentraciones de hierro disueltas. Finalmente, el análisis de la cinética de la figura 2, sirve de base para el establecimiento de las condiciones de trabajo para la aplicación de este proceso a una escala mayor con la posibilidad de elegir 2 alternativas: a) bajos tiempos de retención, que implican menor tamaño del reactor y b) mayor tiempo de retención que implica un mayor tamaño de reactor y mejor eficiencia del tratamiento. Esto debe analizarse en conjunto con otros aspectos como la disponibilidad de terreno y el uso que se quiera dar al agua tratada.

Conclusiones

En este estudio, la mejor condición obtenida, fue una DQO_d residual de 58.4 mg/L, con las concentraciones iniciales de 2 mM de Fe²⁺ y 200 mg/L de H₂O₂; correspondiente a un porcentaje de remoción del 95%, lo cual garantiza el cumplimiento normativo del efluente tratado en los parámetros de interés referidos de DQO y DBO₅. Para la aplicación, en función del uso a que se pretenda destinar el agua tratada, se puede usar una menor concentración de hierro como la de 1 mM, lo que permite además del cumplimiento normativo, ahorro en el costo de reactivos. Esto se comprobó al hacer una caracterización del efluente tratado bajo la condición de [Fe²⁺]₀ de 1 mM y (H₂O₂)₀ de 200 mg/L, obteniendo los siguientes valores: DBO₅ < 7 mg/L, DQO_d de 79.3 mg/L, DQO_t de 95.4 mg/L, SST de 77 mg/L, valores inferiores a lo establecido en la NOM-001-SEMAR-NAT-2001. Los resultados mostraron un nivel de tratamiento adecuado lo cual abre la posibilidad de considerar el reúso del agua mediante el complemento con algunas otras tecnologías que así lo permitan.

Referencias

1. PUIG, G.P., **El agua virtual: conceptos e implicaciones**, in Redalyc.org. 2012. p. 69-76.
2. COFEPRIS, **Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales**. 2006, COFEPRIS: México. p. 67.
3. VALERIA CASTILLO ROBLEDO, M.A.V.R. **Propuestas de reingeniería del proceso aerobio y diseño de un tratamiento terciario en el rastro frigorífico de León**, in *Ingeniería Ambiental*. 2012, Universidad Tecnológica de León: León. p. 94.
4. ISARAIN-CHÁVEZ, E. et al., **Mineralization of the drug β -blocker atenolol by electro-Fenton and photoelectro-Fenton using an air-diffusion cathode for H₂O₂ electrogeneration combined with a carbon-felt cathode for Fe²⁺ regeneration**. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2010. 96(3-4): p. 361-369.
5. NEYENS, E. and BAEYENS, J., **A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique**. *Journal of Hazardous Materials*, 2003. 98(1-3): p. 33-50.
6. PERALTA-HERNÁNDEZ, J.M. et al., **Comparison of hydrogen peroxide-based processes for treating dye-containing wastewater: Decolorization and destruction of Orange II azo dye in dilute solution**. *Dyes and Pigments*, 2008. 76(3): p. 656-662.
7. PERALTA-HERNÁNDEZ, J.M. et al., **In situ electrochemical and photo-electrochemical generation of the fenton reagent: A potentially important new water treatment technology**. *Water Research*, 2006. 40(9): p. 1754-1762.
8. LIN, S.H. and Lo, C.C., **Fenton process for treatment of desizing wastewater**. *Water Research*, 1997. 31(8): p. 2050-2056.
9. SANDIP, S.; RUPARELIA, J.P. and PATEL M. L., **A general review on advanced oxidation processes for waste water treatment**. Institute of Technology, Nirma University, Ahmedabad, 2011. p. 382-481.
10. OLLER, I.; MALATO, S. and SÁNCHEZ-PÉREZ J.A., **Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review**. *Science of The Total Environment*, 2011. 409(20): p. 4141-4166.
11. GARCÍA GÁMEZ, C.; GORTÁREZ MOROYOQUI, P. and DROGUI P. **Tratamientos biológicos y de oxidación avanzada combinados para una solución a la biotecnología ambiental**, 2011. 6, p. 585-605.
12. DE SENA, R.F. et al., **Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced oxidation processes monitored by GC-MS and LC-MS**. *Chemical Engineering Journal*, 2009. 152(1): p. 151-157.
13. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, A.W.W.A., **Water Environment Federation ed. Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Vol. 1. American Public Health Association: Washington, USA., 1998.
14. HERMOSILLA, D.; CORTIJO, M. and HUANG, C.P. **The role of iron on the degradation and mineralization of organic compounds using conventional Fenton and photo-Fenton processes**. *Chemical Engineering Journal*, 2009. 155(3): p. 637-646.
15. WU, Y. et al., **Modeling the oxidation kinetics of Fenton's process on the degradation of humic acid**. *Journal of Hazardous Materials*, 2010. 179: p. 533-539.

AMEF como parte del PPAP de nuevos productos en el área de juntas de calidad

(Por Israel Becerril Rosales)

Resumen

Este artículo se plantea desde la perspectiva de un proveedor de juntas de cabeza para una empresa del sector automotriz. Se ejecutó un análisis de los requerimientos para la realización del Proceso de Aprobación de Piezas para Producción (PPAP), incluyendo Diagrama de flujo, AMEF de Proceso y Plan de Control.

Se detectó una incorrecta identificación de la materia prima, el efecto potencial de esta falla era una reducción de eficiencia térmica debido a la degradación de transferencia del calor, para ello se propusieron inspecciones visuales al 100% para todas las llegadas de materia prima en concordancia con la orden de compra y el certificado de calidad del proveedor; esta identificación redujo el número de incidencias ocasionadas así como la cantidad de reclamos por parte de los clientes.

Palabras clave: PPAP, AMEF, diagrama de flujo, automotriz.

Abstract

This article arises from the perspective of a provider head gaskets for a company in the automotive sector. An analysis of the requirements for the completion of the Process for Production Part Approval (PPAP), including Flowchart, Process FMEA and Control Plan was implemented.

Incorrect identification of the raw material was detected, the potential effect of this failure was a reduction in thermal efficiency due to the degradation of heat transfer, for that visual inspections at 100% was proposed for all arrivals of raw materials in accordance with purchase order and the supplier's quality certificate, this identification caused reduced the number of incidents and the number of complaints from customers.

Introducción

En los últimos años la industria automotriz ha incrementado su relevancia para la economía mexicana, al convertirse en uno de los principales productores de vehículos a nivel mundial; y posicionándose en el 8° lugar, desplazando a países como Italia, Francia y Brasil; por ello la urgencia de muchas empresas transnacionales en invertir capital para la modernización de plantas en México. Es por esta razón que las empresas proveedoras de autopartes buscan innovar y mejorar sus procesos. Este artículo centra su interés en el área de Ingeniería de Calidad donde se realiza el PPAP, requerimiento indispensable para los proveedores de autopartes, dentro de esto se abordan:

- Registro de diseño.
- Documentos autorizados de cambios de ingeniería.
- Aprobaciones de ingeniería del cliente.
- Análisis modal de fallas y efectos (AMEF de diseños).
- Diagrama(s) de flujo de los procesos.
- Análisis modal de fallas y efectos (AMEF de procesos).
- Planes de control.
- Estudios de análisis de sistemas de medición.
- Resultados dimensionales.
- Informes de resultados de pruebas de materiales/ingeniería.
- Estudios iniciales de proceso.



- Documentación de laboratorios cualificados.
- Reporte de Aprobación de Apariencia (RAA).
- Pieza muestra de producción.
- Muestras patrón.
- Calibres de verificación.
- Requerimientos específicos del cliente.
- Certificado de Emisión de una Pieza (PSW).

El artículo centra su atención en el diagrama de flujo de procesos, AMEF de procesos y planes de control. Posteriormente se hace mención de los resultados obtenidos.

Objetivo

Mejorar el proceso productivo en la fabricación de juntas de cabeza mediante la detección temprana de modos y efectos de fallas.

Método de trabajo

Aunque la herramienta PPAP es muy amplia, cabe mencionar que el área de calidad de juntas solo participa en la preparación del diagrama de flujo de proceso, AMEF de proceso y plan de control, por lo que aquí se describen las actividades directas e indirectas que fueron necesarias para llevar a cabo la ejecución del proyecto.

1. Elaboración de diagrama de flujo de proceso

Tomando como base el Manual de diagrama de flujo de proceso que la Sociedad Latinoamericana de la calidad define como: Diagrama de flujo es "Una representación pictórica de los pasos en un proceso, útil para determinar cómo funciona realmente el proceso para producir un resultado. El resultado puede ser un producto, un servicio, información o una combinación de los tres..."¹

Para poder llevar a cabo el AMEF de proceso, primero fue necesario desarrollar el diagrama de flujo de proceso que intervino en la fabricación de los nuevos modelos de juntas de cabeza (se muestra un ejemplo en la Tabla 1. Ejemplo de diagrama de flujo.); al ser varios modelos fue necesario realizar diagramas para cada número de modelo.

Estos diagramas incluyeron cada una de las operaciones que intervenían en la fabricación del número de parte correspondiente, y así dar pie a la elaboración de documentación en las siguientes etapas (AMEF de proceso y plan de control). Fue necesaria la identificación de características significativas o características críticas sobre las cuales uno como proveedor debe poner mayor atención.

FLOW CHART Part nuber: 2012 AC GASKET EXHAUST Customer: AUTOMOTIVE SAP:1					
Operation number	Description	Flow process	Operation description	Quality Issues for processing	Failure mode
'00	Incoming inspection		Type steel	Identify raw material according of color code described in standar work instruccions	Diferent type steel Bad condition of material
S1	Storage		Accomodate raw material in warehouse	Identify raw material according standar work instruccions	Damaged steel Steel coil without specification
'00	Supply material from warehouse to production		Elaborate batch order at warehouse. Verify material	Steel coil according batch order	Steel with damage or marks Diferent part number
T1	Transport		Transport steel coil to production	Transport steel coil to production area Check material according to back order	Steel coil damaged Diferent steel
10	Cutting process <i>Cutting both superior and inferior layer and assembly inside of tooling</i>		The operator adjust machine parameters, cutting process, checks appereance and checks in gage	Cut with Metaloseal and assembly gasket Machine: Kaiser315	Bad compressed Wrong assembly Layer with burrs and marks Hole presence Layer with displacement Layer outside contours
T2	Transport		Transport to work in process	Blue plastic containers	Different layers Layers damaged
S2	Storage		Storage layers work in process Put layers in blue containers	Plastic containers with identification label	Different layers Layers damaged Wrong identification
100	Packing process		Packing norm	Audit 100% of gasket	Selection of layers quantity and position
100	Final product audit		Product audit	Packing gasket	Label ford
T3	Transport		Transport layers to warehouse	Pallet identification	Damaged plastic containers Label ford
S3	Warehouse finish product		Put product in warehouse finish product	Pallet identification	Correct position

LAYOUT DESIGN	SYMBOL	DESCRIPTION	Any desviations according to this chart please stop the process and inform immediatly																																							
		Operation	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Control changes</th> </tr> <tr> <th>Date</th> <th>Change</th> <th>Prepared by</th> <th>Change description</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td>Prepared by: Engineering</td> <td>Review by: Quality</td> <td>Aproval by: Production</td> </tr> </tbody> </table>			Control changes			Date	Change	Prepared by	Change description																												Prepared by: Engineering	Review by: Quality	Aproval by: Production
	Control changes																																									
	Date	Change				Prepared by	Change description																																			
			Prepared by: Engineering	Review by: Quality	Aproval by: Production																																					
	Inspection																																									
	Transport																																									
	Storage																																									
SC	Significant characteristic																																									

Tabla 1. Ejemplo de diagrama de flujo.

2. Elaboración de AMEF de Proceso

Un AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Fallas del Proceso) puede ser descrito como...“un grupo sistematizado de actividades que intentan:

- Reconocer y evaluar la falla potencial de un producto/proceso y sus efectos.
- Identificar las acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurra la falla potencial.
- Documentar el proceso. Este es complementario para la definición del proceso que un diseño o proceso deben hacer para satisfacer al cliente...”²

Aplicar AMEF se ha vuelto un actividad casi obligada para garantizar que los productos sean confiables, en el sentido que logren funcionar bien el tiempo que se ha establecido como su periodo de vida útil, pero también cada día se hace más común su aplicación en muchos otros campos con el objetivo de detectar fallas



potenciales y prevenir las, y de esa forma reducir los tiempos de ciclo, mejorar la eficiencia de procesos, etc.

Originalmente se orientó a detectar fallas durante el diseño o rediseño del producto y fallas en el proceso de producción; la importancia actual del AMEF radica en la identificación potencial y confirmación de las características significativas y críticas hacer escritas por cambios de diseño, cambios de proceso o inclusión en el plan de control de proceso.

El siguiente paso fue la estructuración del AMEF de proceso con la finalidad de poder detectar modos de falla y anticiparse a la correcta solución de un problema en caso de presentarse, esto permite que la empresa automotriz ponga solución a la inconformidad y reclamos por parte de los clientes que se han presentado. Para ello primero se realizó la colocación de los números de parte del nuevo modelo y se dio una breve explicación del proceso o actividades a ser analizadas.

Posterior a esto se considera como parte del AMEF: la severidad, ocurrencia y detección.

Criterio de evaluación de severidad.

De acuerdo con el AMEF de proceso se tienen como efectos potenciales de error 3 posibles fallas por una aprobación de material diferente las cuales son: que la junta de cabeza de cilindros no selle, provocando una fuga de gas de combustión y fuga del refrigerante; como segundo efecto potencial de falla se tendría fuga en el motor por degradación del material de la junta de cabeza, conduciendo a la pérdida de altura de los embutidos y a la durabilidad del sello con el tiempo; y, como última consecuencia, se tendría una eficiencia térmica reducida debido a la transferencia degradada de calor. Tomando en consideración los 3 efectos potenciales de falla y analizándolas contra la tabla de evaluación de la severidad (Tabla 2. Criterios para la evaluación de asertividad), se determinó que los tres factores causan una pérdida o degradación de la función primaria lo que ocasiona que el vehículo esté en condiciones deficientes pero no afecta el funcionamiento seguro del vehículo, sin embargo tiene repercusiones directas al cliente y esto representa un 8 en la clasificación de severidad.

Criterio de evaluación de ocurrencia.

Se llegó a 3 diferentes causas potenciales o mecanismos de falla en la ocurrencia las cuales fueron: materia prima sin el certificado de calidad del proveedor, la segunda fue un incorrecto embarque del proveedor y por última fue una incorrecta identificación de la materia prima por parte del inspector; dando como resultado (de acuerdo a la Tabla 3. Criterios para la evaluación de la ocurrencia.) una muy baja probabilidad de ocurrencia, lo que representó una clasificación de 1 esto debido a que la posible falla fue eliminada o controlada gracias al uso de los controles preventivos propuestos como: contar con instrucciones para el almacenaje de materia prima, así como contar con el certificado de calidad para todos y cada uno de los embarque de materia prima que entran al área de inspección recibo.

Criterio de evaluación para la detección.

Se utilizaron 3 métodos para la detección: el primero consistió en una inspección 100% visual de toda llegada de materia prima en almacén de acuerdo con la orden de compra y certificado de calidad del proveedor de esta manera teniendo este método un rango de probabilidad de 8, el siguiente método fue una verificación 100% visual a cada rollo de acero entregado en operación de corte, este método de acuerdo a la clasificación de detección representa un rango de 7 y revisando el último método de detección se contará con el certificado de calidad del proveedor y teniendo un rango de 5 de acuerdo a la tabla de rangos de detección. Siguiendo el método de detección que debe ser asociado al mejor control de detección se estableció que en este caso es el que tiene el rango número 5 de acuerdo a las especificaciones de la Tabla 4. Criterio de evaluación para la detección.



Effect	Criteria: Severity of Effect on Product (Customer Effect)	Rank	Effect	Criteria: Severity of Effect on Process (Manufacturing/ Assembly Effect)
Failure to Meet Safety and/or Regulatory Requirements	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning.	10	Failure to Meet Safety and/or Regulatory Requirements	May endanger operator (machine or assembly) without warning.
	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning.	9		May endanger operator (machine or assembly) with warning.
Loss or Degradation of Primary Function	Loss of primary function (vehicle inoperable, does not affect safe vehicle operation).	8	Major Disruption	100% of product may have to be scrapped. Line shutdown or stop ship.
	Degradation of primary function (vehicle operable, but at reduced level of performance).	7	Significant Disruption	A portion of the product run may have to be scrapped. Deviation from primary process including decreased line speed or added manpower.
Loss or Degradation of Secondary Function	Loss of secondary function (vehicle operable, but comfort / convenience functions inoperable).	6	Moderate Disruption	100% of production run may have to be reworked off line and accepted.
	Degradation of secondary function (vehicle operable, but comfort / convenience functions at reduced level of performance).	5		A portion of the production run may have to be reworked off line and accepted.
Annoyance	Appearance or Audible Noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by most customers (>75%).	4	Moderate Disruption	100% of production run may have to be reworked in station before it is processed.
	Appearance or Audible Noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by many customers (50%).	3		A portion of the production run may have to be reworked in-station before it is processed.
	Appearance or Audible Noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by discriminating customers (<25%).	2	Minor Disruption	Slight inconvenience to process, operation, or operator.
No effect	No discernible effect.	1	No effect	No discernible effect.

Tabla 2. Criterio para la evaluación de la severidad.



Likelihood of failure	Criteria: Occurrence of Cause – PFMEA (Incidents per items/vehicles)	Rank
Very High High	≥ 100 per thousand ≥ 1 in 10	10
	50 per thousand 1 in 20	9
	20 per thousand 1 in 50	8
	10 per thousand 1 in 100	7
Moderate	2 per thousand 1 in 500	6
	.5 per thousand 1 in 2,000	5
Low	.1 per thousand 1 in 10,000	4
	.01 per thousand 1 in 100,000	3
	≤ .001 per thousand 1 in 1,000,000	2
Very Low	Failure is eliminated through preventive control.	1

Tabla 3. Criterios para la evaluación de la ocurrencia.

Opportunity for Detection	Criteria: Likelihood of Detection by Process Control	Rank	Likelihood of Detection
No detection opportunity	No current process control; Cannot detect or is not analyzed.	10	Almost Impossible
Not likely to detect at any stage	Failure Mode and/or error (Cause) is not easily detected (e.g., random audits).	9	Very Remote
Problem Detection Post Processing	Failure Mode detection post-processing by operator through visual/tactile/audible means.	8	Remote
Problem Detection at Source	Failure Mode detection in-station by operator through visual/tactile/audible means or post-processing through use of attribute gauging (go/no-go, manual torque check/clicker wrench, etc.).	7	Very Low
Problem Detection Post Processing	Failure Mode detection post-processing by operator through use of variable gauging or in-station by operator through use of attribute gauging (go/no-go, manual torque check/clicker wrench, etc.).	6	Low
Problem Detection at Source	Failure Mode or Error (cause) detection in-station by operator through use of variable gauging or by automated controls in-station that will detect discrepant part and notify operator (light, buzzer, etc.). Gauging performed on setup and first-piece check (for set-up causes only).	5	Moderate
Problem Detection Post Processing	Failure Mode detection post-processing by automated controls that will detect discrepant part and lock part to prevent further processing.	4	Moderately High
Problem Detection at Source	Failure Mode detection in-station by automated controls that will detect discrepant part and automatically lock part in station to prevent further processing.	3	High
Error Detection and/or Problem Prevention	Error (Cause) detection in-station by automated controls that will detect error and prevent discrepant part from being made.	2	Very high
Detection not Applicable; Error Prevention	Error (Cause) prevention as a result of fixture design, machine design or part design. Discrepant parts cannot be made because item has been error-proofed by process/product design.	1	Almost Certain

Tabla 4. Criterio de evaluación para la detección.

3. Elaboración de plan de control

Se define al plan de control como: “descripciones escritas de los sistemas para controlar partes y procesos. Diferentes planes de control cubren tres fases distintas: prototipos, pre-lanzamiento y producción...”³.

La primera actividad fue la colocación del número de proceso u operación, este número ya está predeterminado para cada una de las diferentes operaciones o procesos.

Las siguientes actividades, que se llevaron a cabo, fueron la descripción de las características tanto del producto como del proceso así como sus especificaciones, tolerancias y las técnicas de evaluación de medición.



Una medida fue verificar la materia prima (que el rollo de acero fuese inoxidable), con tolerancias del grosor de 0.20 ± 0.015 mm, y el método de medición que se llevó a cabo fue que cada lote de llegada de un rollo de acero estuviera acompañado con el certificado de calidad del proveedor y el control del grosor de la lámina se controló usando un micrómetro. Para el control de las características del proceso se aseguró que el rollo de acero estuviese libre de marcas, rasguños o cualquier otro defecto sobre la lámina de acero y la técnica de evaluación de medición fue una supervisión visual en los primeros 5 metros del rollo de acero.

Resultados

- El AMEF de proceso concluyó un RPN (número de prioridad de riesgo) igual a 40, esto se muestra en la tabla 5. (Se obtuvo con el producto de las tres características importantes del AMEF: la severidad, ocurrencia y detección).

- Es importante mencionar que en caso de obtener un valor de RPN alto, al llevar a cabo los planes de acción para la reducción de RPN se debe dar prioridad a la severidad, continuando con la ocurrencia y finalizando con la detección, y se debe asegurar que dichas acciones tomadas sean incluidas en el plan de control.

- Se redujo en un 15% el reclamo del cliente por encontrar piezas defectuosas dentro de los lotes que se le entregaron por mencionar sólo una de las diferentes ideas de mejora que ayudaron a la reducción de costos.

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (PFMEA)																					
Item: <u>GASKET CYLINDER HEAD</u>		Process Responsibility: <u>Quality Engineering</u>		FMEA Number: <u>001-HG</u>																	
Part Number: <u>AT4E6051DA / AT4E6083DA</u>		Key Date: <u>Abril.01.13</u>		Prepared By: <u>R. Santillán</u>																	
<u>AU3E6051DA / AU3E6083DA</u>		Model Year(s)/Program(s): <u>2016</u>		FMEA Date: (Orig) <u>2013.03.01</u>		(R e v): <u>Ene.16.13 (rev1)</u>															
Core Team : <u>J. Zepeda (Production Manager), E. Corona (Product Manager), Roland Mailander (Quality Manager), R. Santillán (Quality Engineer), A. Garduño (Auditor) G. Davila (Supervisor), E. Espinoza (Supervisor), V.Ortiz (Manager Maintenance), E. Jimenez (Tooling chief), J.Quintero (Process Engineering), A.Cardiél (Incoming Inspection)</u>																					
No.	Part. Number	Op. Nr.	Process Function / Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Class	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occurrence	Current Control		Detection	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Action Results					
										Prevention	Detection					Actions Taken	Severity	Occurrence	Detection	RPN	
1	AT4E6051R083DA AU3E6051R083DA	00	Verify raw material for the Layers / In accordance with the invoice and Supplier's Quality Certificate.	Wrong identification or approval of non conformance material (different coil steel)	1.Gasket does not seal, allowing combustion gas leakage to coolant [8] 2.Leakage in engine by Gasket material degradation leading to loss of bead height over time, loss of seal durability [8] 3.Reduced thermal efficiency due to degraded heat transfer [8]	8		1.-Raw Material without supplier's Quality Certificate 2.-Wrong supplier's shipment 3.-Incorrect raw material identification by inspector in EKM	1	1.Instruction for Storage raw material 2.Quality Certifie for all each batch of raw material in incoming inspection	1.100% Visual Verification of all incoming raw material in store in accordance with Purchase order and supplier's Quality Certificate 2.100% Visual verification of each incoming steel coil in cutting operation 3.Quality certificate from supplier	5	40	None in this time				8	1	5	40

Tabla 5. Evaluación AMEF

Discusión

Es necesario mencionar que la elaboración de diagrama de flujo descrito en este artículo se limita a un aspecto particular, por ello debe ser constante el AMEF en la integración de nuevos productos, espacios, etc., para así diseñar y rediseñar un diagrama de flujo de proceso; considerando la eliminación de tareas que no agregan valor ni al proceso ni al producto, como es el caso de los transportes excesivos entre una operación y otra ya que además de incurrir en tiempo perdido, se incurre en utilizar recursos de mano de obra o costos que pudieran ser aprovechados en la siguiente operación; o, de igual forma, los almacenes innecesarios entre una operación y otra. La esencia de este diagrama deberá centrarse en utilizar operaciones que agreguen valor al proceso y que sean una manera eficaz de reducir tiempos ciclo, costos y den un flujo efectivo al material en proceso. Dichas mejoras al diagrama de proceso deberán hacerse con la participación del equipo multidiscipli-



plinario pues enriquece la toma de decisiones y el enfoque al proceso, esto debe considerarse en cualquier sector de la industria pues generalmente su desarrollo se centra a una sola persona.

En cuanto al plan de control es necesario seguir paso a paso cada uno de los métodos de control indicados en dicho plan. En ocasiones suele realizarse y dejarse sólo en el papel, por ello la ineficiencia del proceso.

Este proceso debe considerar actualizarse cuantas veces sea necesario hasta reducir el número de fallas dentro del proceso.

Conclusiones

- La experiencia adquirida durante la participación en diferentes proyectos generados por esta empresa automotriz, fue muy vasta debido a que las industrias ensambladoras son muy celosas en sus procesos para la elaboración de sus productos, por ende el control que tienen sobre sus proveedores es muy estricto y minucioso, ya que cada cliente cuenta con sus propias técnicas o métodos para trabajar, lo que hace que la combinación entre experiencia de cliente y proveedor incremente la visión del ingeniero que participa en este tipo de sectores. Al desarrollar este proyecto se adquirieron una infinidad de conocimientos técnicos de carácter teórico, técnico y práctico.
- El sector automotriz es uno de los más destacados no sólo a nivel nacional sino a nivel internacional y México es uno de los países más privilegiados para la manufactura y ensamble de vehículos, pues tan sólo de 2006 a 2010 tuvo un crecimiento paulatino, por eso la importancia de muchas empresas transnacionales en invertir capital extranjero para la modernización de plantas en México.
- Al desarrollar PPAP's y en específico la estructuración de AMEF's de procesos se pudo determinar la importancia que tiene el personal operativo para detectar y dar solución a problemas en el sector que sin este tipo de técnicas sería más difícil su detección y correcta solución. El correcto funcionamiento de un AMEF de proceso depende de un buen diagrama de flujo y la efectividad de su plan de control, estos puntos ayudarán a reducir problemas recurrentes de calidad. Al trabajar con este tipo de herramientas es necesario considerar siempre la participación de un equipo multidisciplinario incluyendo a todas las áreas involucradas como: producción, calidad, mantenimiento, ingeniería por mencionar solo algunas.

Referencias

¹ Sociedad Latinoamericana de la calidad, 2008, Manual de Diagrama de Flujo, México D.F. 60 p.

² Ford Motor Company, 2004, Failure Mode and Effects Analysis, FMEA Handbook (With Robustness Linkages) Dearborn, Mi, p.15.

³ Chrysler Corporation, (2008) Ford Motor Company y General Motors Corporation, Manual APQP, 2nd Edition, . P. 13.

Bibliografía

- CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY Y GENERAL MOTORS CORPORATION, Manual APQP, 2a Edition, Julio 2008.
- CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, AND GENERAL MOTORS COMPANY, Statistical Process Control (SPC), Troy Michigan, 1995.
- ELRING KLINGER MÉXICO, Manual para el uso de herramientas de calidad, 2010.
- FORD MOTOR COMPANY, Failure Mode and Effects Analysis, FMEA Handbook (With Robustness Linkages) Dearborn, Mi., 2004.
- FORD MOTOR COMPANY, DAIMLER CHRYSLER CORPORATION, GENERAL MOTOR CORPORATION, Potential Failure Mode and Effects Analysis FMEA Third Edition, Southfield, Mi., 2001.
- FORD MOTOR COMPANY, The disciplined problem solving process, Dearborn, Mi., 2008.
- SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE LA CALIDAD, Manual de Diagrama de Flujo, México D.F. , 2008.



La imagenología cerebral en la exploración de la sinestesia

(Por Francisco Javier González Compeán)

Resumen

La manifestación de la **sinestesia** ha sido considerada por un sector grande de la población como un fenómeno de índole subjetiva y metafórica.

Diferentes experimentos en los ámbitos de la psicología y la neurología han ampliado nuestra comprensión del tema, en particular en la segunda mitad del siglo XX con los avances en la exploración funcional del cerebro, estos han permitido establecer la sinestesia como un fenómeno perceptivo de naturaleza fisiológica, que para los pacientes que poseen dicha característica implica una respuesta perceptiva automática y objetiva.

Realizaremos una breve revisión a la trayectoria de la exploración cerebral, así como a algunos de los experimentos representativos que han contribuido al conocimiento objetivo del fenómeno perceptivo que conocemos como **sinestesia**.

Palabras clave: Carac

Abstract

The perceptual phenomenon of synesthesia has been considered by a large sector of the population as a phenomenon of subjective and metaphorical nature.

Different experiments in the fields of psychology and neurology have expanded our understanding of the phenomenon, particularly in the second half of the twentieth century with advances in functional brain scan. Such functional examination has established the phenomenon of synesthesia as a perceptual phenomenon of physiological nature, that is, for patients who have this characteristic implies an automatic and objective perceptual response.

We'll briefly review the trajectory of the brain exploration, as well as some representative experiments that have contributed to knowledge of the perceptual phenomenon known as synesthesia.

La imagenología cerebral en la exploración de la sinestesia

A partir de los avances tecnológicos del siglo XX, en materia de microscopía y exploración del cuerpo humano, ha sido posible determinar la realidad fisiológica del fenómeno conocido como "**sinestesia**", como una condición física, más que como un reflejo condicionado por factores educativos o familiares.

La sinestesia es comúnmente definida como un fenómeno perceptivo que consiste en la unión de dos o más sentidos ante un solo estímulo, una respuesta sui generis de dos sensaciones cuando debería haber una sola de índole especializada. Es un fenómeno que a raíz de las investigaciones realizadas a partir del siglo XIX en los campos de la psicología y la neurología ha dejado de ser considerado como subjetivo para tomar un papel de característica fisiológica.

El conocimiento del cuerpo humano, sus funciones y estructura, ha estado ligado intrínsecamente al estudio de la microscopía. Asimismo, el conocimiento del cuerpo humano ha sido dependiente del estudio de la anatomía humana. Durante siglos, el hecho de abrir el cuerpo humano y extirpar tejido, o el examinarlo cuando este está a la vista, ha sido el método por excelencia para la comprensión de la mecánica subyacente en sus sistemas fisiológicos.

El método anatómico conocido como “extirpación”, que consiste en la extracción o cauterización de una parte de un órgano, como el cerebro, ha sido la clave para el inicio de la comprensión de fenómenos como el uso específico de un órgano, o las funciones determinadas de diferentes áreas cerebrales. Mediante este recurso, que en la actualidad conocemos con los términos de “biopsia” y “autopsia”, ha sido posible determinar que el cerebro posee áreas especializadas con funciones específicas que atañen no solo al funcionamiento automático de órganos como el corazón o el hígado, sino que las diferentes áreas del cerebro también están involucradas en el fenómeno de la percepción humana.

La “biopsia”, consiste en la extirpación de tejido de un ser vivo (el sujeto de investigación permanece con sus funciones vitales); la “autopsia”, por otro lado, es realizada en sujetos sin funciones vitales, lo que permite la extracción completa de diferentes órganos y su exploración detallada. Los métodos de extirpación, a pesar de haber contribuido significativamente a los avances en el ramo de la medicina, neurología, filosofía y demás ramas del conocimiento; poseen la desventaja de que al momento de analizar el tejido extirpado, este se encuentra muerto, y descontextualizado de la función que realizaba en el cuerpo humano.

Mediante el análisis obtenido por el estudio anatómico del cerebro, se han podido diferenciar varias áreas en la estructura del cerebro humano, en este lo primero que salta a la vista son los “hemisferios cerebrales”, que constituyen el mayor porcentaje de la masa de este órgano: son dos grandes objetos constituidos de tejido nervioso que ocupan casi todo el cráneo; los hemisferios se encuentran unidos por un “puente” de células nerviosas (denominado cuerpo caloso) que les permite trabajar de manera conjunta, también se observa que la superficie de los mismos se encuentra llena de pliegues llamados “circunvoluciones”, que conforman lo que conocemos como el “córtez”.

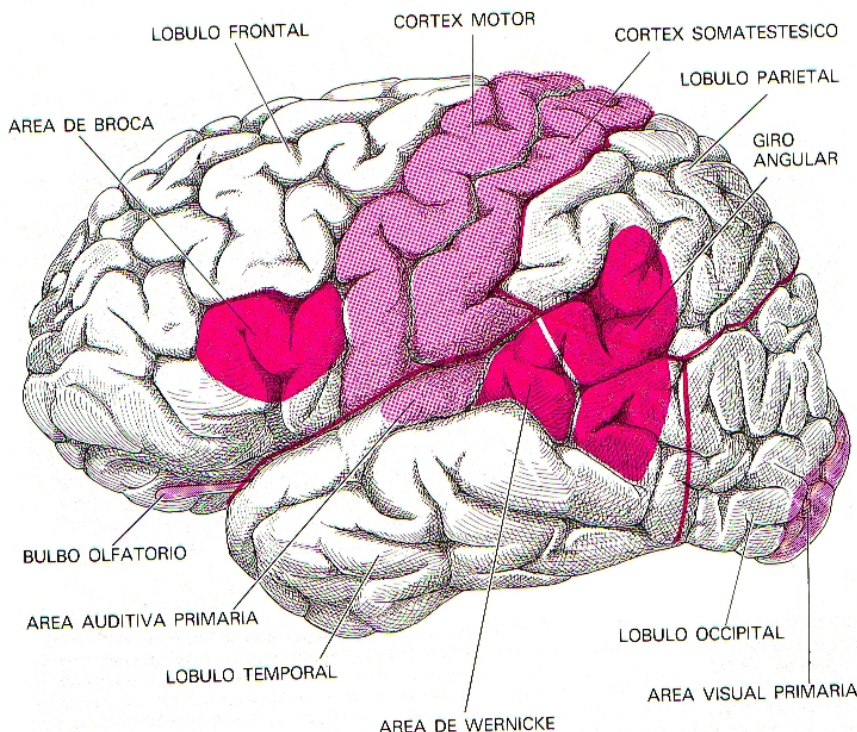


Figura 1. Imagen general de las áreas del cerebro.

Fuente: Grupo de Fonética. Departamento de Filología Española. Universidad Autónoma de Barcelona.

Son estas circunvoluciones y el córtex, lo que creemos tiene que ver con la inteligencia y la mayor parte de las funciones típicamente asociadas con la percepción. Debajo de una “protuberancia” en la parte posterior de los hemisferios cerebrales, se encuentra el “cerebelo”, también dividido en dos hemisferios; justo arriba del cerebelo y entre este mismo y los hemisferios cerebrales, se encuentran el “tálamo” y el “sistema límbico”.



El sistema límbico, parece afectar a las emociones e intervenir (al igual que los hemisferios cerebrales) en la conciencia del individuo; al tálamo, se le ha encontrado la función de integración y dirección de los nervios sensitivos dirigidos al córtex, y por debajo del cerebelo encontramos el “tronco cerebral” que conecta la médula espinal con el cerebro.

Desde el descubrimiento, alrededor de 1870, de que el “córtex” cerebral responde a estímulos eléctricos¹, y que es mediante impulsos eléctricos que se realiza la comunicación entre neuronas, se han realizado experimentos no solo en animales, sino en seres humanos, en los que ha sido posible comenzar a vislumbrar las funciones específicas de distintas áreas cerebrales, así como la injerencia de las diferentes secciones de la corteza cerebral en diversos fenómenos de percepción.

El método de estimulación eléctrica del córtex y otras áreas del cerebro se efectúa por medio de la inserción de electrodos, los cuales pueden estar sujetos al exterior del cráneo, y llevar la corriente eléctrica producida por el cerebro a mecanismos de medición de energía eléctrica, que sirve para registrar zonas de actividad cerebral, en momentos determinados, y en respuesta a estímulos externos controlados; aún más notorio, es cuando el electrodo se implanta (es insertado) en el cerebro, y al conectarlo a una fuente de energía eléctrica, la ciencia ha utilizado este método para determinar qué respuesta causa la estimulación eléctrica de un área, encontrando que la estimulación de determinadas secciones causa no solo acciones musculares individualizadas, sino que pueden generar emociones, recuerdos (los cuales permanecen vívidos mientras el estímulo eléctrico permanece, para desaparecer en cuanto este cesa), y sensaciones. El impulso eléctrico cerebral tiene la función de liberar “paquetes” químicos de una neurona a otra, lo que constituye el método de comunicación del cerebro, de una manera muy similar a la fotosíntesis de las plantas.

Este método de medición de la actividad eléctrica fue pionero en la investigación del cerebro “vivo”, en funciones, y permitió vislumbrar la idea de que diferentes áreas del cerebro realizan diferentes funciones.

Podemos dividir el cerebro en varias áreas: además de los hemisferios izquierdo y derecho, encontramos en el área posterior los “lóbulos occipitales” en donde se localiza el centro de percepción visual. Arriba de los lóbulos occipitales se hallan los “lóbulos parietales”, los cuales se encargan de la información sensorial de nuestro cuerpo, tanto a nivel interno como externo, son los que indican que debe de actuar y nos indican que lo hace, además procesan la información sobre músculos, tendones, posición de la mano, etcétera, y se les atribuyen funciones asociativas y de reconocimiento del espacio. Los “lóbulos frontales” situados al frente del cráneo, contienen una amplia gama de funciones, entre las que cabe destacar las verbales, motoras y de memoria; además tienen que ver con la toma de decisiones, la sensación de peligro y la reacción al mismo, que se efectúa en asociación con el sistema límbico.

Al costado del cerebro, debajo de los lóbulos parietales, se encuentran los “lóbulos temporales”, en el área que se considera como la corteza auditiva primaria; estas zonas se encargan de la sensación auditiva, y los daños en esta área, no solo ocasionan daños en la percepción auditiva, sino también la visual.

En estas grandes divisiones del cerebro, se encuentran también, en áreas aún más determinadas, las que conocemos como “funciones cerebrales inferiores”, y estas se encargan de estímulos y reacciones más específicas, como lo son: los estímulos visuales, auditivos, motores, el habla, etcétera. Podemos encontrar, a grandes rasgos, el área de estímulos visuales en los lóbulos occipitales y el área auditiva en los lóbulos temporales, así como la sección que se encarga del gusto (el sabor) en los lóbulos parietales.

El conocimiento sobre estas áreas y sus funciones ha sido posible, en parte, gracias a la estimulación eléctrica del cerebro, la patología derivada de lesiones producidas en distintas zonas del mismo, y recientemente, a las nuevas técnicas de **imagenología cerebral**.

El conocimiento sobre la sinestesia como un fenómeno fisiológico se ha conseguido gracias al monitoreo de la actividad eléctrica y de otro tipo de actividades del cerebro, vislumbrando cómo en un individuo sinestésico la respuesta cerebral a un determinado estímulo es diferente a la de un individuo a-sinestésico. Como primer paso para poder explorar las funciones cerebrales mediante la **imagenología funcional cerebral**, se trabaja

con la idea de que una zona del cerebro consume más oxígeno si trabaja más², siendo el flujo sanguíneo el portador de oxígeno al cerebro, la variable a medir es conocida como “flujo sanguíneo cerebral regional”³.

Una de las primeras técnicas funcionales para medir el flujo sanguíneo cerebral es la **tomografía computarizada por emisión de fotón único** (SPECT por sus siglas en inglés). La técnica consiste en introducir al sistema circulatorio humano una sustancia radioactiva que pueda ser inyectada o inhalada, y se colocan dispositivos de detección para medir los niveles de radiación emitida en el cerebro del paciente, al detectar los fotones producidos por la descomposición de la sustancia radioactiva en cuestión.

Un experimento realizado con esta técnica por el neurólogo Cytowic, consistió en pedirle a un paciente con tipo de sinestesia “sabor-figuras geométricas” (asociaciones del gusto y visuales), que inhalara gas Xenón 133, una sustancia que no sufre ninguna transformación química durante su paso por el cuerpo humano, y el paciente no se ve afectado por el proceso, y monitorear la emisión de fotones del gas Xenón, que se encontraba en la sangre del paciente, en su recorrido por el cerebro, mientras el sujeto de experimentación pasaba por distintas condiciones de estímulo y/o descanso.

El experimento consistió en tres sesiones con diferentes condiciones de estímulo, la primera se realizó para establecer la condición de “descanso” y las mediciones obtenidas del paciente cuando este estaba únicamente acostado, con los ojos cerrados y en lo posible, sin ruido alguno alrededor (únicamente el sonido de la máquina de medición); el resultado fue el esperado: un flujo sanguíneo homogéneo por todo el cerebro. En la segunda sesión, la primera de activación, se le suministraron aromas al sujeto de experimentación, y en la tercera sesión se “potenció” la sinestesia del individuo con nitrato de amyl, sustancia que el paciente había dicho anteriormente que exaltaba su estado de sinestesia. Usualmente se espera que el flujo sanguíneo se incremente en el área de estudio alrededor de un 10%, y mediciones de un incremento de 20% a 50%, son normales⁴. Por otro lado, el nitrato de amyl, es una sustancia cuyo efecto es la reducción del flujo sanguíneo cerebral, sin embargo, fue administrada como un factor que permitiría una más clara “lectura de la sinestesia”.

Los resultados obtenidos del experimento de Cytowic fueron excepcionales en más de un sentido: las mediciones del cerebro del paciente fueron completamente distintas de las obtenidas en pacientes a-sinestésicos sometidos a estímulos similares; además, como un fenómeno completamente inesperado, el flujo sanguíneo del paciente se redujo dramáticamente, obteniendo que el flujo sanguíneo del córtex cerebral era tan bajo, que resultaba en mediciones que señalaban zonas neurológicamente muertas; en el caso del hemisferio izquierdo del paciente, el flujo sanguíneo bajó hasta un 18%, a pesar de que se estaba tratando con un individuo neurológicamente sano, y que lo usual ante un estímulo es que el flujo sanguíneo se incremente; en palabras de Cytowic, el paciente con mediciones semejantes debería haber estado paralizado o ciego. Este estudio llevó a Cytowic a considerar que el fenómeno de la sinestesia se encuentra en el sistema límbico del cerebro, a niveles más profundos que lo medible por la tomografía computarizada de fotón único⁵.

La conclusión de Cytowic no puede ser comprobada como tal, ya que no hay una posibilidad de medición de estructuras tan profundas del cerebro, esto es en parte debido a la composición del gas Xenón 133, ya que las emisiones del mismo son muy tenues.

El siguiente avance en técnicas de imagenología cerebral es conocido como la **tomografía de emisión de positrones** (PET por sus siglas en inglés), la cual permite una exploración de sustratos más profundos de la actividad cerebral, así como un mayor número de mediciones de la función cerebral en un mismo paciente. Este método es bastante parecido al de la SPECT: consiste en la inyección de una sustancia radioactiva en el torrente sanguíneo, usualmente se utiliza agua radioactiva ($^{15}\text{H}_2\text{O}$), la cual puede ser inyectada un mayor número de veces que el gas Xenón 133 en una misma sesión, sin afectar al sujeto de experimentación.

Los investigadores Baron-Cohen y John Harrison efectuaron una serie de experimentos en los cuales trabajaron bajo la misma hipótesis de que la actividad cerebral de un sinesteta, debería de ser distinta a la de un **a-sinestésico** bajo las mismas condiciones y estímulos. Se eligió un grupo de sinestetas que reaccionaran como tales al sonido de palabras, pero no a algún otro tipo de sonido, lo que les permitiría introducir como variable de control el sonido de tonos puros, y comparar estos resultados con el grupo de control a-sinestésico; como



un factor añadido de control, se les vendaron los ojos a los participantes, y se experimentó con seis individuos sinestésicos y seis individuos no sinestésicos.

Como conclusiones de este experimento, John Harrison marca haber encontrado diferencias en el flujo sanguíneo entre los individuos sinestésicos y *a-sinestésicos*, y tal vez más sorprendente: se encontró que las zonas involucradas en el procesamiento del color se activaron en los pacientes sinestésicos, a pesar de tener los ojos vendados⁶.

Los resultados arrojados por los experimentos que han usado las técnicas de **imagenología cerebral funcional** han sido poco consistentes unos con otros, excepto en un hecho: el cerebro sinestésico funciona de una manera diferente al cerebro de un *a-sinestésico* ante los mismos estímulos; sin embargo, no coinciden sobre las causas o las zonas de activación cerebral, es de esta forma que mientras el experimento realizado por Cytowic sobre un solo individuo, el cual poseía sinestesia del sentido del gusto con el color y formas geométricas, llevó al investigador a concluir que el fenómeno de la asociación sinestésica se encontraba en el sistema límbico, conclusión a la que llegó por los bajos niveles de irrigación sanguínea en los extractos superiores del cerebro. Por su parte, el experimento realizado por Baron-Cohen y John Harrison, en un grupo de sinestetas que poseían asociaciones de sonido-color, muestra zonas de activación no en el sistema límbico, sino en zonas del córtex cerebral, asociadas a la percepción del color.

Se han realizado también experimentos con la **resonancia magnética funcional** (*MFR*, por sus siglas en inglés), implicando procedimientos menos invasivos y comprobaciones de resultados más rápidas. La *MFR*, al igual que las otras técnicas de imagenología cerebral, mide el flujo sanguíneo regional del cerebro, y el cambio en los niveles de oxígeno en la sangre. Los experimentos parten de la misma idea de que una sección del cerebro que se active bajo un estímulo determinado, mostrará un incremento en el área cerebral que tiene una función determinada. En estudios efectuados con esta técnica en pacientes con “audición colorida”, mostraron un claro incremento en el flujo sanguíneo regional en zonas involucradas en el procesamiento del color.

Son resultados opuestos los conseguidos por diferentes investigadores, en particular, los obtenidos por medio de la **tomografía de emisión de fotón único** (*SPECT*) y la **tomografía de emisión de positrones** con respecto la resonancia magnética (las cuales arrojan resultados similares), y esto ha llevado a los investigadores a considerar que no existe “un tipo de sinestesia”, sino que tal vez, sería más adecuado hablar de “sinestias de diferentes tipos”, que pueden ser diferentes incluso en las razones que las causan, y que las diferencias que arrojan los estudios de la exploración cerebral funcional, sobre la manera de comportarse del cerebro de sujetos que padecen de distintos tipos de asociaciones sinestésicas, son un indicativo de diferentes causas y realidades.

En los estudios clásicos, el fenómeno de la sinestesia era definida como “la aparición de ciertas imágenes estereotipadas producidas por una experiencia sensorial”, pero los investigadores actuales han abandonado la idea de lo “estereotipado” de la imagen producida, por las “experiencias sensoriales primarias” (o físicamente reales). Incluso Galton, en uno de los primeros textos de carácter no artístico sobre la sinestesia, resalta la marcada individualidad de la percepción sinestésica. En la actualidad se considera la sinestesia como algo diferente a una imaginación vivida, o poesía, o metáfora subjetiva⁵. La sinestesia es una realidad en la percepción de los individuos; estableciendo que la realidad del color y del sonido dependen de manera intrínseca de la interpretación final que el cerebro de una persona realiza del fenómeno físico, podemos afirmar que la percepción sinestésica es una manera de percibir el mundo, que a pesar de no ser compartida por la mayoría de la población humana, es una percepción real, no metafórica, la cual puede ser comprobada no únicamente por experimentos de orden conductual, sino mediante el monitoreo de la actividad cerebral y las diferencias que estos experimentos arrojan entre un cerebro sinestésico y uno *a-sinestésico*.

Aún hay mucho que investigar sobre las causas que ocasionan los diferentes tipos de sinestias, el hecho de que un individuo padezca de dos o más percepciones ante un solo estímulo físico; una teoría reciente sugiere que el fenómeno podría ser causado por una inusual “poda neuronal” alrededor de los tres años de edad.



En investigaciones sobre la red neuronal del hombre en diferentes estadios de su vida (algunas de ellas obtenidas desde el siglo XIX, gracias a los avances en materia de microscopía y estudios realizados por métodos de extirpación), se ha podido observar que el desarrollo del cerebro humano comienza desde que este se encuentra en el vientre materno, y que desde la gestación se crea una “sobrepoblación” de neuronas y de conexiones entre ellas (conocidas como “sinapsis”), proceso de interconexión neuronal que continúa hasta aproximadamente los tres años de edad. El cerebro humano es extremadamente moldeable y flexible, al grado de que las experiencias y el entorno que nos rodea influye en la conformación fisiológica final del cerebro; mientras un estímulo se repite, este causa que ciertas conexiones neuronales se refuercen, y aquellas conexiones que no son reforzadas terminan por ser destruidas.

Aproximadamente entre los dos y tres años de edad, ocurre un fenómeno conocido como “poda neuronal” en el cual, de forma natural y espontánea, se destruyen un sinnúmero de conexiones intraneuronales en el cerebro; se cree que el fenómeno es realizado para dar mayor efectividad al mismo, mediante una mayor especialización de funciones y comunicación cerebral. Una hipótesis obtenida como resultado de experimentos de orden conductual en niños menores de tres años, es que todos somos sinestésicos hasta antes de esta “poda neuronal”, y que cuando este fenómeno ocurre, la percepción sinestésica se pierde para la mayoría de nosotros, al ocurrir una mayor especialización en las conexiones neuronales utilizadas para la percepción. Aún más, desde los estudios clásicos sobre la sinestesia, se ha reportado que la mayoría de los sinestésicos recuerdan padecer de esta condición desde la infancia temprana, antes de los siete años⁹, y de la misma manera, testimonios recientes indican el recuerdo de asociaciones ligadas a un solo estímulo desde edades tempranas¹⁰, parece que mientras el individuo se desarrolla, la capacidad sinestésica se reduce. Este fenómeno ha llevado a pensar que en individuos cuya percepción sinestésica se mantiene a lo largo de su vida, esta poda neuronal fue inusual, obteniendo como resultado, que las conexiones que posiblemente unían dos o más percepciones de diferente tipo en el cerebro, y que en la mayoría de la población son desechadas para obtener una percepción más especializada, no fueron destruidas en los individuos que padecen de sinestesia hasta el final de sus días, idea que ha sido reforzada por resultados de experimentos de orden conductual en niños.

Esto es llamado como la “hipótesis neo-natal”¹¹, sobre las posibles causas de la sinestesia, la cual establece que mientras somos niños, todos padecemos de la condición sinestésica, ya que muchas de las funciones especializadas en los cerebros de los niños funcionan de manera muy pobre, mientras que las funciones “transmodales” del cerebro infantil funcionan correctamente; y que, probablemente a causa de una mutación genética en el cromosoma “X”, la poda neuronal que debería de destruir algunas de las conexiones transm entre fenómenos de la percepción no es realizada, ocasionando que el estado de la sinestesia se mantenga durante toda la vida.

En la mayoría de nosotros, estas conexiones “transmodales” nunca llegan a ser conscientes, por lo cual, no percibimos nunca de manera sinestésica; sin embargo, existen evidencias de que se puede llegar a adquirir la percepción sinestésica mediante el uso de alucinógenos (que de acuerdo a las investigaciones neuronales y el testimonio de sinestetas, no ocasionan una percepción sinestésica idéntica a la “natural”), o por efecto de diferentes patologías ocurridas en zonas específicas del cerebro, o la destrucción de zonas del cerebro, que ocasionarían un cambio irreversible en la percepción del individuo.

Conclusiones

En conclusión, podemos decir que el fenómeno sinestésico es realmente vivido por las personas con esta condición, y que su origen tiene bases de tipo fisiológico, a cuyo estudio han contribuido de manera significativa las técnicas de imagenología. tales como la **tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT)**, la **tomografía de emisión de positrones (PET)** y la resonancia magnética funcional (MFR). Los resultados que arrojan los experimentos que han usado las técnicas de imagenología cerebral funcional hacen patente el hecho de que el cerebro de un individuo sinestésico funciona de manera diferente al de un *a-sinestésico*.



En el estudio de este peculiar fenómeno perceptivo, queda pendiente que los investigadores obtengan resultados consistentes acerca de la interacción que se produce entre las diferentes partes del cerebro de una persona con sinestesia.

Referencias

1. FRANZ S, Ivory. Localization of brain function. New York: Macmillan Co., 1901, p. 420.
2. HARRISON, John. El extraño fenómeno de la sinestesia. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 2004, p. 127.
3. Ídem.
4. CYTOWIC, R.E. The man who tasted shapes. New York: MIT P., 2003, p. 148
5. Ibidem. p. 151
6. HARRISON, J. El extraño fenómeno de la sinestesia. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 2004, p. 144
7. WHELLER R.H.; y T.D. CUTSFOTH. The Synaesthesia of a blind subject with comparative data from an Asynaesthetic blind subject. Oregon: University of Oregon P., 1922, p. 3.
8. CYTOWIC R.E. & EAGLEMAN D.M. Wednesday is indigo blue, discovering the brain of synesthesia. Cambridge: MIT P., 2009, p. 14.
9. FLOURNOY T.H. Des phénomènes de synopsis (audition colorée). Paris: Félix Alcan, 1893, p. 231
10. CYTOWIC, R.E. The man who tasted shapes. New York: MIT P., 2003, p. 9.
11. Ibidem, p. 245.

El Becerro Digital como un recurso educativo para la historia medieval y la filología histórica

(David Peterson, Luís Octavio Alpizar Garrido, Santiago Palacios)

Resumen

El *Becerro Digital* (en adelante BD) es la edición digital, libremente accesible on-line – (<http://www.ehu.es/galicano/>) de un códice medieval conocido como el Becerro Galicano de San Millán (Imagen 1).

Es una fuente imprescindible para el medievo hispano, no sólo para los historiadores de gran parte del centro-norte peninsular (sobre todo, Castilla, Rioja, el País Vasco y Navarra) sino también para filólogos interesados en el latín tardío, el castellano temprano o el euskera. Además, gran número de los nombres - tanto de lugar como de persona- registrados en esta fuente por la primera vez después tendría una proyección extra-peninsular, como sería el caso con Bolívar, Durango, Mendoza, o de Sánchez, García, Jiménez, para tomar algunos ejemplos. Y, no obstante, a pesar de la importancia del material, no había sido bien servido por ediciones en papel anteriores. Esta paradójica coyuntura es lo que motivó el desarrollo de la mencionada edición digital ¹.

Becerro Galicano de San Millán de la Cogolla

en | es | eu

Edición digital

Introducción

Archivos

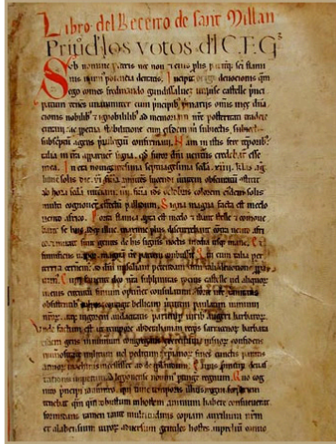
Bibliografía

Coloquio

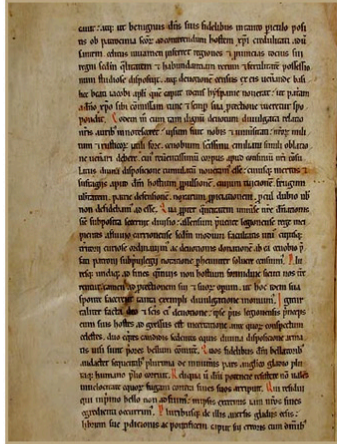
Búsquedas e índices

▼ Vista del cartulario folio a folio

I
IV
II
IIIv
III
IIIv
IV
IVv
V
Vv
VI
VIv
VII
VIIv
VIII
VIIIv
IX
IXv
X
Xv
XI
1
1v
2
2v
3
3v
4



folio I
doc. núm. 0



folio IV
doc. núm. 0

Edición crítica

Imagen 1. El Becerro Digital.

El resultado, el Becerro Digital (BD) es, sobre todo, un trabajo de investigación: ideado por y para investigadores y bien recibido por esa comunidad. No obstante, desde el principio, uno de nuestros principios guía era la facilidad de acceso que una metodología de edición digital podría ofrecer. Tratándose de un códice prácticamente milenario de enorme valor (bien custodiado en la biblioteca del monasterio de San Millán de la Cogolla), el acceso físico sin limitaciones es impráctico. En su ausencia ofrecemos un acceso virtual que en algunos sentidos (zoom, índices, búsquedas automatizadas) incluso supera las posibilidades del acceso físico.



Además de libremente accesible en la web y gratuito² tiene una interfaz trilingüe: en español, vasco e inglés. Además, varios de los asistentes al Coloquio Internacional de San Millán (2013), puesta en largo del BD, se pusieron de acuerdo en cuanto a las grandes posibilidades que brindaba como una herramienta no sólo para la investigación, sino también para la docencia universitaria (Escalona, 2013). La naturaleza multidisciplinar del equipo participe en el proyecto BD (filólogos, historiadores y paleógrafos) es sintomática de la riqueza de un material que en realidad toca en otros muchos campos: filologías latina, romance y vasca; historia del arte, del derecho, de la iglesia, geografía histórica; paleografía, diplomática, codicología... En fin, el BD es una de las mejores fuentes para el conocimiento de la España medieval en prácticamente todas sus facetas, y de ahí su enorme potencial como recurso didáctico.

Por otra parte, como es sabido, las nuevas tecnologías han revolucionado nuestra manera de comunicarnos, de vivir y de aprender (Siemens, 2004), y este principio se consagró en la *Declaración de Bolonia* (1998) cuando se sentaron las bases para la creación del Espacio Europeo de Enseñanza Superior. Como consecuencia, universidades grandes y pequeñas promueven la implementación de la enseñanza virtual.

Sin embargo, no quiere decir que la iniciativa siempre haya sido bien recibido por el profesorado. Existe una tensión entre la política educativa y la realidad en el aula. Esto se ha visto en las más *prestigiosas business schools* norteamericanas (Borrero, 2014), pero también en universidades y disciplinas mucho más cercanas al BD. Recientemente, por ejemplo, en una universidad del entorno, la propuesta del rectorado de introducir la enseñanza on-line para el curso 2014-15 fue cuestionada por el profesorado del Departamento de Historia, quien finalmente optó por posponer su introducción de la docencia on-line durante un año.

Los motivos detrás de la reticencia a implementar estas innovaciones pueden ser varios (no necesariamente exclusivos): desde la convicción de que la propuesta innovación es repentina, infra-financiada y/o infra-apoyada personal o técnicamente, hasta la escasa preparación tecnológica del propio profesorado un problema particularmente agudo en el caso del profesorado veterano (Guevara, 2010). Tampoco hay que olvidar la situación actual en gran parte del sur europeo (España incluida) donde, en adición a la tradicional infra-inversión en tecnología, tenemos un profesorado cada más más precario, acosado por un creciente volumen de trabajo y con sueldos menguantes; una coyuntura que difícilmente conduce a la innovación docente. Así que, incluso si el profesorado está convencido de las ventajas de incorporar la nuevas tecnologías, el desconocimiento de las mismas y la alta inversión en tiempo que resulta encontrar y seleccionar información fiable (Ferro, 2009) obstaculizan la innovación. Sobre esta problemática relación entre la tecnología y las realidades y necesidades del aula en el ámbito español, véase también Carneiro (2011) y Almerich (2011).

Además, ciertas disciplinas, y entre ellas las que nos interesan aquí, parecen ser más lentas que otras en ofrecer cursos on-line. En *Coursera* (<https://www.coursera.org/>) por ejemplo; aunque Humanidades es uno de los bloques más grandes con 115 cursos abiertos en todos los idiomas, si nos centramos en cursos ofrecidos en español (el tercer idioma después de inglés y chino), sólo dos cursos se ofrecen actualmente (31/05/2014) en historia y ninguno en historia medieval (véase la Tabla adjunta). La oferta en los diferentes portales de este tipo necesariamente varía y además va cambiando, pero el discreto perfil del mundo medieval parece ser un constante. En el portal iberoamericano *Miriadax* (<https://www.miriadax.net/>), no es tan fácil hacer semejante comparación entre disciplinas (que además se agrupan de maneras diferentes), pero de nuevo sólo hay dos cursos de historia con matrícula abierta, y en realidad uno es en historia del arte y otro en mitología griega. Desde luego, historia no parece estar sobrerrepresentada, e historia medieval menos todavía.

Coursera 31/05/2014 Cursos ofrecidos	Todos	Humanidades	Historia
Todos idiomas	649	115	¿?
Español	24	8	2

La presencia limitada de la Historia entre los MOOCs en oferta
(tomando como ejemplo <https://www.coursera.org/>)

Como ya se ha mencionado, bajo el epígrafe de las Humanidades se reúnen muchas disciplinas con metodologías diferentes. Lógicamente, también varía el grado de penetración de las nuevas tecnologías en ellas; con arqueología, por ejemplo, favorecida sobre la más tradicional historia documental, quizás como resultado de un demográfico docente más joven. No está tan claro por qué filología, en muchos sentidos una disciplina hermana de la historia documental, también parece aventajada en este sentido, pero cuando se constituyó la asociación de *Humanidades Digitales Hispánicas* en 2012 www.humanidadesdigitales.org/, los ocho miembros fundadores estaban radicados en departamentos de filología y/o lingüística, y con el comité actual la proporción actual es de 6/8 filólogos y ningún historiador. Quizás la explicación resida en el hecho de que la filología ha estado más expuesta a la tecnología en etapas anteriores (edición digital, análisis de corpora lingüística etc.), pero sea cual sea la causa, el desequilibrio parece existir.

Asistimos, por lo tanto, a un momento interesante en la enseñanza de las humanidades; a la vez problemática y prometedora. Aplicado a nuestro caso tenemos, por un lado, una tecnología libremente accesible y novedosa con grandes potencialidades didácticas (BD), y unas autoridades universitarias convencidas de las bondades de la enseñanza virtual. Pero, por otro lado, un profesorado receloso y unas disciplinas con cierto retraso en la aceptación de las nuevas tecnologías. Sugerimos que el BD puede servir como una herramienta para facilitar la introducción de la tecnología en las Humanidades y así dar un pequeño paso hacia la resolución del desencuentro.

El avance en el área tecnológica tendrá un punto de encuentro entre las generaciones actuales, agregando cada vez más elementos que captan la atención tanto de estudiantes como de profesores. La oferta de materiales para cursos tales como: videos, foros de usuarios interactivos y escenarios en línea, darán un nuevo sentido a las herramientas existentes. (Barro y Camarillo, 2013). Si pensamos en términos de los MOOC (*Massive On-line Open Courses*), uno de los formatos más dinámicos y versátiles de la enseñanza virtual universitaria actual, y la unidad básica de enseñanza en plataformas como vemos como Coursera y Miriadax, el acrónimo coincide de pleno con la realidad e ideología del BD en cuanto a dos de las siglas componentes (*On-line & Open*). En cuanto a *Massive*, dudo que seamos capaces de reunir los miles de matriculados de los pioneros cursos de Siemens y otros en Stanford, pues los atractivos del BD, por muy multi-disciplinares que sean, tienen una audiencia más restringida. Si, en cambio, entendemos que *Massive* en realidad remite al concepto de matrícula ilimitada, no veo incompatibilidad entre el BD y el desarrollo de uno o más mini-MOOCs, pues de nuevo la multidisciplinariedad el BD abre un abanico de posibilidades. Ahora mismo, por tanto, lo que impide que el BD se pueda considerar como un MOOC es el cuarto elemento: no es un curso, sino un recurso.

El, hoy en día, tan utilizado concepto de MOOC coincide con uno de los objetivos más importantes de la educación virtual en el sentido de proponer un cambio en la forma de enseñar y de aprender (Raposo, 2014). No obstante, también recogen los frutos tanto tecnológicos como pedagógicos de las buenas y no tan buenas experiencias desarrolladas en la formación virtual durante los últimos 20 años y en este sentido la ruptura con el pasado no puede ser absoluta. Muchos de los elementos, actividades y propuestas que ya se venían realizando en esos entornos tienen cabida también en los nuevos MOOC (Palacios et al., 2010). En ambos casos se precisa de unos materiales virtuales on-line y una serie de actividades orientadas al aprendizaje y la elaboración de esos contenidos y organizadas a través de una secuencia de unidades didácticas (Rodríguez Illera, 2008).

Por ello, creemos que todavía se debe poner énfasis en la creación de materiales virtuales que den sustento a los MOOC y que el BD, es un buen ejemplo de cómo un material virtual puede dar soporte de forma atractiva y funcional a los contenidos a enseñar y aprender en el área de historia y lingüística. Así, el BD se presenta como una herramienta destinada a conformar parte de un entorno virtual de aprendizaje basado en el diseño de materiales autosuficientes y el aprendizaje autodirigido (Barbera y Rochera, 2008) o bien para ser incluida en entornos virtuales basados en el trabajo en grupo y el aprendizaje colaborativo. Siguiendo a Barbera y Rochero (2008), con el BD contamos con un material básicamente reproductivo-informativo formado por un conjunto de informaciones sobre una temática específica organizado de manera que el estudiante puede dibujar diferentes itinerarios de aprendizaje. Nuestra oferta de herramientas de búsqueda e indexación (Imagen 2) facilita al estudioso identificar y después perseguir el tema (o concepto, persona, lugar o voz cualesquiera) que el



mismo elija, delimitando los parámetros de la búsqueda según se quiera. Así acercándose más a la estructura tanto de la fuente original como de nuestra base de datos –la tecnología sobre la cual se construye la BD– de un modo que un itinerario más formalizado difícilmente permita. En este sentido el BD se puede utilizar también para desarrollar en los estudiantes las competencias digitales relacionadas con el acceso a fuentes de información y la gestión de bases de datos (Villa y Poblete, 2010).

Becerro Galicano de San Millán de la Cogolla en | es | ca

▼ Búsquedas e índices [ayuda]

Búsqueda general	Búsqueda en índices
<input checked="" type="radio"/> número del documento p. ej.: "545", "734-737"... <input type="radio"/> folio del Becerro Galicano p. ej.: "1034", "103-145", "49-61"... <input type="radio"/> fecha crítica p. ej.: "1039", "923-1100"... <input type="radio"/> fecha códice p. ej.: "1039", "923-1100"... <input type="radio"/> en todo el contenido p. ej.: "falsificación", "Ed. Ledesma, p. 379"... <input type="radio"/> a partir de otras ediciones y versiones	<div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> <input type="text" value="en todos los índices:"/> </div> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> <input type="text" value="palabra:"/> </div> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> <input type="text" value="lema:"/> </div> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> <input type="text" value="forma toponímica:"/> p. ej.: "Pamplona", "Naiara", "Castella"... </div> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> <input type="text" value="lema toponímico:"/> p. ej.: "Pamplona", "Naiara", "Castella"... <input type="button" value="territorio..."/> </div> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> <input type="text" value="forma antroponímica:"/> p. ej.: "Ramiro", "Rodrigo", "Rademiro"... </div> <div style="border-bottom: 1px solid #ccc; padding-bottom: 5px;"> <input type="text" value="lema antroponímico:"/> p. ej.: "Ramiro II", "Ramiro III"... </div>
tamaño contexto (cars.): <input type="text" value="250"/> orden: <input type="button" value="fecha crítica"/>	
<input type="button" value="Limpiar"/> <input type="button" value="Buscar"/>	

Imagen 2. Las herramientas de búsqueda e indexación del Becerro Digital.

En resumen, el BD puede utilizarse bien como material principal de un entorno de aprendizaje virtual o como un material auxiliar o complementario de otros, o bien como el contenido objeto de aprendizaje en sí mismo en asignaturas de historia o lingüística o como el elemento sobre el que enseñar otras competencias (digitales).

Por último, son varios también los campos académicos que pueden servirse del material y herramientas ofrecidas por el BD. Para ilustrar esto sin entrar al nivel de detalles bibliográficos, sirva un listado de los nombres de algunos de los consagrados estudiosos que, para una variedad de disciplinas, han recurrido a esta misma material emilianense: Menéndez Pidal, Roger Wright (filología hispánica), Sánchez Albornoz, García de Cortázar (historia medieval), Luis Michelena, Caro Baroja (lengua y estudios vasos).

Evidentemente en un paper de estas características es impracticable entrar en detalle, pero a continuación ofrecemos un esbozo de las líneas didácticas que estimamos que se pueden desarrollar a partir del BD. La idea es desarrollar cada sección como una unidad didáctica independiente, que conjuntamente podrían constituir uno o más MOOCs, en diálogo con los propios docentes uni-versitarios que esperamos a continuación se conviertan en los usuarios del recurso.

1. Filología

- a Filología latina: el latín vulgar
- b Filología romance: la emergencia del castellano escrito
- c Filología vasca: onomástica y fonética



2. Historia

- a Emergencia del Condado de Castilla y su conversión en reino
- b Expansión del reino de Navarra
- c Sociedad y economía rural
- d Arqueología del paisaje
- e Creación de los grandes dominios monásticos a partir de los primitivos monasterios
- f Historia diocesana, conflicto monasterios-obispos

3. Paleografía y diplomática

- a El cartulario como género
- b La estructura del diploma
- c La letra carolina
- d El problema de las falsificaciones

En resumen, los retos y las oportunidades que llegan con las nuevas tecnologías hacen que éste sea un momento singularmente interesante en la historia de la educación, como ha sido ampliamente comentado (Siemens, 2004). Modelos y metodologías se van cambiando, pero con más facilidad en algunas disciplinas que en otras más ancladas en el pasado y en metodologías tradicionales. Esto parece ser el caso para algunas disciplinas de Humanidades, en el mundo hispano-parlante, y más específicamente parece ser el caso con Historia medieval. El BD tal y como está y como se diseñó para la comunidad investigador ya ofrece una alternativa y totalmente democrática manera de acceder a una importante parte de nuestro patrimonio cultural, pero lo que proponemos es aprovechar este trabajo ya hecho, y ahora adecuarlo a las necesidades de los docentes y estudiantes del mundo medieval, hasta ahora algo al margen de la revolución tecnológica.

Referencias

1. Cofinanciado por el Ministerio de Ciencia e Innovación ("De los cartularios al territorio, la iglesia y la sociedad: edición digital y estudio crítico del Becerro Galicano" de San Millán de la Cogolla", MICINN, HAR2010-16368), y los gobiernos del País Vasco ("Grupo de Investigación Consolidado Alta y Plena Edad Media", IT536-10) y La Rioja.
2. Resulta interesante contrastar este aspecto con el precio de otra edición reciente de material parecido (Los Becerros Gótico y Galicano de Valpuesta, eds. Ruiz Asencio et alii), también financiado con dinero público pero con un PVP de €50. Más caras aún son las ediciones facsímiles o, claro está, una estancia para estudio in situ.

Bibliografía

- ALMERICH, G., Suárez, J. M., Belloch, M. C. & Bo Bonet, R. M^a. **Las necesidades formativas del profesorado en TIC: perfiles formativos y elementos de complejidad**. *Relieve: Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 17 (nº 2). 2011 <http://www.uv.es/RELIEVE>.
- ALTUZARRA, A & Urcola L. **Evaluación del uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el ámbito universitario**. *Revista de dirección y administración de empresas* 10, pp. 151-158. 2002 <https://addi.ehu.es/handle/10810/11002>
- BARBERA, E., & Roquera, M. J. **Los entornos virtuales de aprendizaje basado en el diseño de materiales autosuficientes y el aprendizaje autodirigido**. in C. Coll & C. Monereo (Eds.), *Psicología de la educación virtual*. Madrid: Morata, 2008, pp. 179-193.
- BORRERO, J. E. **Mientras los académicos muestran escepticismo frente a los MOOC, las universidades continúan apostando por ellos**. *Revista de Educación Virtual*, Feb. 11. 2014 <http://revistaeducacionvirtual.com/archives/783>
- CARNEIRO, R., Toscano, J. C., & Díaz T. (Eds.). **Los desafíos de las TIC para el cambio educativo**, Madrid: Fundación Santillana. 2011.
- BARR, I., Camarillo J., **MOOC: Una visión desde las TIC y desde Europa**. Conferencia de Rectores de Universidades Españolas. REDIRIS GGTT. 2013.
- ESCALONA, J. **Using and teaching the Digital Galicano**. Coloquio Internacional de San Millán, San Millán de la Cogolla (October 9-11, 2013) (unpublished paper), 2013.
- FERRO, C., Martínez A. I. & Otero M^a C. **Ventajas del uso de las TICs en el proceso de enseñanza – aprendizaje desde la óptica de los docentes universitarios españoles**. *Eduotec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 29, 2009, <http://edutec.rediris.es/Revelec2/revelec29/revelec29.html>
- GUEVARA, H. **Integración tecnológica del profesor universitario desde la teoría social de Pierre Bourdieu**. *Apertura (special*



issue March 2010: Inclusión Social y convivencia), 2010, <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura3/issue/view/34>

- PALACIOS, S., Amez, A., Arrieta, E., Herrán, E., Medrano, C., & Rodríguez I. (2010). **Psicología evolutiva y video documental. Del debate presencial al foro virtual.** In J. Garaizar & J.M. Goñi (Eds.), Nuevos escenarios para el aprendizaje en la Universidad. Propuestas de innovación educativa, Bilbao: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. 2010, pp.108-118.
- PETERSON, D. **Codificando el código. La edición digital del Becerro Galicano de San Millán.** Jornadas de Humanidades Digitales, Univ. Miguel Hernández, Elche (unpublished paper). 2012.
- RAPOSO, M. **Orientaciones pedagógicas para los MOOC.** @ http://gtea.uma.es/congresos/wp-content/uploads/2013/12/Texto_Congreso-MRaposo-def.pdf, [accessed 1/6/2014], 2014.
- RODRÍGUEZ, J.L., “**La presentación y organización de los contenidos de los entornos virtuales. Lenguajes y formatos de presentación**”, in C. Coll & C. Monereo (Eds.), *Psicología de la educación virtual* Madrid: Morata, 2008, pp. 153-174.
- SIEMENS, G. **Connectivism: a learning theory for the digital age** <http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism.htm>
- VILLA, A. & Poblete M. **Aprendizaje basado en competencias.** Bilbao: Mensajero. 2010.





















