

# Redes telemáticas transeuropeas para la tomografía por emisión de positrones: el proyecto TENPET

G. Kontaxakis<sup>1</sup>, P. Guerra<sup>1</sup>, R. Ohl<sup>2</sup>, I. Sachpazidis<sup>3</sup>, L. G. Strauss<sup>4</sup>, F. Ortega<sup>5</sup>, D. Visvikis<sup>6</sup>, J. Diaz<sup>5</sup>, C. Cheze-Le Rest<sup>6</sup>, A. Dimitrakopoulou-Strauss<sup>4</sup>, L. Pan<sup>4</sup>, A. Santos<sup>1</sup>, G. Sakas<sup>2,3</sup>, M. A. Pozo<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, {gkont,pguerra,andres}@die.upm.es

<sup>2</sup>MedCom GmbH, Darmstadt, Alemania, {rohl,gsakas}@medcom-online.de

<sup>3</sup>Medical Imaging and Cognitive Computing, Fraunhofer Institute for Computer Graphics, Darmstadt, Alemania, {Ilias.Sachpazidis,Geogios.Sakas}@igd.fhg.de

<sup>4</sup>German Cancer Research Centre, Clinical Cooperation Unit Nuclear Medicine, Heidelberg, Alemania, {l.strauss, a.dimitrakopoulou-strauss}@dkfz.de, leyunpan@hotmail.com

<sup>5</sup>Fundación Instituto Valenciano de Oncología, Unidad PET, Valencia, España, {fortega, jdiaz}@fivo.org

<sup>6</sup>Université de Bretagne Occidentale, CHU Morvan, Brest, Francia, Visvikis.Dimitris@univ-brest.fr, Catherine.Cheze-LeRest@chu-brest.fr

<sup>7</sup>Centro PET Complutense, Madrid, España, pozo@med.ucm.es

## Resumen

*El proyecto TENPET (Trans European Networks for Positron Emission Tomography) tiene como objetivo evaluar el impacto en la práctica clínica de servicios integrados de teleconsulta y trabajo cooperativo para la tomografía por emisión de positrones. Este proyecto aborda distintos desafíos tecnológicos, enlazando distintos centros PET a los que se les proporciona servicios que permiten la consulta remota entre expertos de la materia. La plataforma tecnológica está basada en Windows (Win2000/NT/XP) e incorpora técnicas avanzadas para la visualización, análisis y fusión de imágenes, así como para la comunicación interactiva y la gestión de mensajería. TENPET promueve la cooperación y mejora la comunicación entre médicos nucleares separados entre sí, bien con el objeto de pedir una segunda opinión o bien con el de formar especialistas a distancia. Además, un especialista que se encuentre fuera de su centro de trabajo puede acceder a los datos de sus pacientes.*

## 1. Introducción

Las técnicas de diagnóstico tradicional, tales como la placa simple, la tomografía axial computerizada (TAC) o la resonancia magnética (RM), proporcionan imágenes anatómicas del organismo. La premisa con estas técnicas es que la patología da lugar a alteraciones estructurales en los órganos afectados. Sin embargo, la patología también se manifiesta en forma de alteraciones bioquímicas que pueden tener lugar mucho antes de que se observe alteración anatómica alguna. La tomografía por emisión de positrones (PET, *positron emission tomography*) es una técnica de imagen molecular con el potencial de proporcionar la información fisiológica necesaria para el diagnóstico, a partir del incremento localizado en el

metabolismo de un cierto componente que ha sido marcado con un elemento radioactivo. Esta técnica ha demostrado ser una potente herramienta tanto para la monitorización de los efectos de la quimioterapia, como para el diagnóstico temprano de neoplasias, de nueva aparición o recurrentes, y la planificación del tratamiento de pacientes con cáncer, cardiopatías o alguna enfermedad neurológica, además de contribuir en la investigación médica y farmacológica.

PET puede informar al especialista sobre alteraciones sutiles de la funcionalidad en el tejido, debido a alteraciones relacionadas con la patología, como variaciones en la perfusión, el ritmo metabólico, etc. Esto permite al clínico diagnosticar y tratar la enfermedad mucho antes, logrando así que el tratamiento aplicado sea más eficiente y preciso. La PET permite monitorizar la respuesta del paciente al tratamiento, así como identificar metástasis que puedan afectar al tratamiento, abortando tratamientos ineficaces y evitando procedimientos invasivos innecesarios. Actualmente esta modalidad se extiende con fuerza en la práctica clínica, y muchas aseguradoras la incluyen ya entre las técnicas aceptadas.

Aunque como modalidad sea complementaria a otras (RM, TAC, etc.), por lo general los equipos PET se encuentran instalados en centros PET independientes o bien en el departamento de medicina nuclear de un hospital. Esta situación de independencia o autonomía se debe que se tratan de equipos costosos y con un mantenimiento muy especializado, por lo requieren de un personal muy cualificado y multidisciplinar, así como unas instalaciones dedicadas.

La PET requiere de técnicos y médicos cualificados, por lo que en cada país europeo existe un número reducido de centros PET operativos, donde algunos están especializados en un área en particular, mientras que otros llevan muy poco tiempo operativos, por lo que requieren constantemente del apoyo de centros con más experiencia.

El proyecto TENPET (acrónimo del inglés: *Trans European Networks for PET*) tiene por objetivo cubrir estas necesidades, desarrollando servicios específicos y poniendo la primera piedra en la formación de una red de cooperación sólida que abarque el mayor número posible de centros PET europeos. Además la red TENPET tiene por objetivo incluir algunos de los centros de referencia más significativos (hospitales generales, institutos de salud), con el fin de facilitar el proceso de remitir pacientes, permitiendo a ambos facultativos, quien ordena la prueba y quien la informa, discutir el caso.

## 2. Métodos

TENPET está basada en la plataforma software Teleconsult, que a su vez es sucesora de TeleInViVo [1], ambas desarrolladas por el Instituto Fraunhofer para Computación Gráfica (IGD), Darmstadt, Alemania. Ambas plataformas son aplicaciones médicas que incluyen funcionalidades para la telemedicina y el teletrabajo cooperativo. TeleInViVo estaba orientada a la adquisición y transferencia de imágenes de ultrasonido, en el contexto de centros sanitarios aislados, como islas, áreas rurales remotas o zonas afectadas por una catástrofe.

Esta plataforma ha sido adaptada y extendida, de tal modo que sea lo más general posible y permita el manejo de todo tipo de imágenes médicas, garantizando especialmente la compatibilidad con el estándar DICOM [2]. Se han añadido nuevas funcionalidades, en particular un nuevo servicio de mensajería para la colaboración entre los facultativos que puede ser instantáneo (chateo) o diferido (mensajería). Además, dentro del proyecto TENPET se ha personalizado la plataforma, con el objeto de mejorar la visualización de imágenes PET, tanto 2D como 3D, y la fusión de imágenes [3],[4], de tal modo que sea posible superponer un volumen de TAC o RM sobre uno de PET a fin de lograr un mejor diagnóstico y una mejor gestión del paciente.

La plataforma TENPET ha sido diseñada para Microsoft Windows NT/2000/XP. Además de la visualización y fusión, el principal objetivo del proyecto ha sido fomentar la colaboración entre clínicos y así mejorar la calidad del diagnóstico y la gestión eficiente del paciente. En este aspecto se ha hecho hincapié en la transmisión de las imágenes, junto con la información adicional resultante de la discusión en-línea (*on-line*) entre los participantes a ambos extremos de la conexión.

Se pueden distinguir dos tipos de teleconsulta: colaboración *on-line* y mensajería fuera-de-línea (*off-line*) (Fig. 1). En el primer caso resulta necesario que los usuarios estén conectados al sistema simultáneamente,

mientras que los mensajes se pueden enviar en cualquier momento y serán llegaran al receptor en su próxima conexión al sistema. Las sesiones *on-line* presentan distintas opciones para la colaboración e intercambio de información. Se ha seguido el principio WYSISIS (acrónimo del inglés “*What you see is what I see*”), lo cual significa que durante la sesión los participantes sincronizan su pantalla (*display*), de tal modo que ven las mismas imágenes en todo momento.

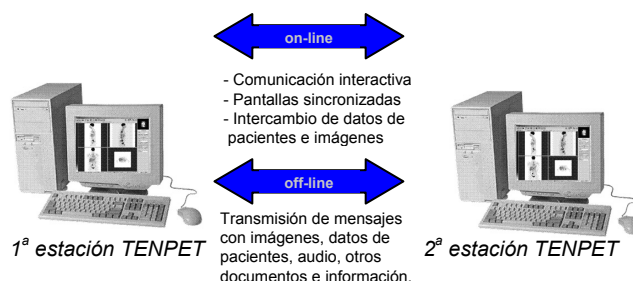


Figura 1. El principio de la teleconsultas *on-line* y *off-line* soportadas en la plataforma TENPET.

La comunicación *on-line* entre dos terminales se sustenta en una conexión TCP/IP punto-a-punto. Una vez que ambos interlocutores se han conectado al sistema, el primer paso es intercambiar sus imágenes, aunque esto se puede hacer por adelantado haciendo uso del servicio de mensajería *off-line*. Esto se debe a que una imagen tan sólo se transmite si no se encuentra en la base de datos del receptor. Durante una consulta *on-line* se pueden realizar todo tipo de manipulaciones sobre la imagen compartida, cambios que son visualizados simultáneamente por ambos interlocutores. Además ambos facultativos pueden comunicarse mediante una herramienta de chateo integrada, así como añadir información gráfica o anotaciones sobre las propias imágenes, con el fin de intercambiar opiniones que lleven a un mejor diagnóstico. Para la sincronización de ambas aplicaciones tan sólo resulta necesario el intercambio de breves comandos de control, cosa que permite la consulta *on-line* incluso a través de conexiones de ancho de banda reducido.

Los mensajes pueden contener, además de imágenes, anotaciones, textos, mensajes de audio y todo tipo de ficheros y documentos, aunque a diferencia de los correos convencionales (*e-mail*) estos mensajes se almacenan automáticamente en la base de datos del receptor.

Las redes locales (*Local Area Network*, LAN), disponibles en los centros de investigación y grandes hospitales, vienen acompañadas de nuevos retos en el trabajo cooperativo (*computer supported cooperative work*, CSCW), como consecuencia de las técnicas de protección aplicadas, como los cortafuegos (*firewalls*) o la traducción de direcciones. Además, resulta imprescindible proteger la información sobre paciente más sensible, conforme a la normativa sobre protección de datos. Esta última cuestión ha sido resuelta anonimizando la información del paciente antes de su envío y mediante el establecimiento de conexiones encriptadas, empleando

una combinación de clave pública/privada y Triple-DES [5].

La principal problemática con *firewalls* es que habitualmente impiden las conexiones punto-a-punto, puesto que bloquean las solicitudes de conexión entrantes. Por lo tanto, se hace necesaria una solución, basada en el principio cliente-servidor, en donde la conexión entre dos equipos está gestionada por un servidor intermedio. Para resolver el problema, se ha creado una red privada virtual (*virtual private network*, VPN) entre todos los miembros del proyecto. La comunicación se desarrolla en dos pasos: en primer lugar la estación TENPET conecta al servidor VPN y se registra en la red virtual. A continuación el usuario establece una conexión punto-a-punto con el destino sin ser bloqueado por el *firewall*. Además, puesto que existe una conexión privada virtual, ésta se realiza mediante SSL (*secure socket layers*), lo cual incrementa la seguridad de la transmisión.

Sin embargo el empleo de la VPN implica distintas restricciones, como la necesidad de que ambos interlocutores estén conectados simultáneamente incluso para mensajería *off-line*. Además, cada vez que se arranca la aplicación el usuario tiene que registrarse (aunque este proceso es automático al arrancar la herramienta).

Como alternativa a la VPN, dentro del proyecto TENPET se ha implementado y evaluado el protocolo Jabber [6]. Se trata éste de un sistema de mensajería instantáneo [7] similar al empleado en MSN, AOL o ICQ [8]. Este tipo de mensajería resulta muy conveniente para la realización de chateo. Hoy en día, el empleo de este tipo de mensajería se ha extendido a la comunicación de negocios (*business to business*, B2B) [9],[10]. En el futuro se espera que esta tecnología se fortalezca, extendiéndose su uso a aplicaciones médicas.

El sistema de mensajería Jabber es distinto a otros, al estar basado en XML. Además se trata de un protocolo de código abierto, lo que permite poder distribuirlo sin problemas y además está accesible a todo el mundo independientemente de la plataforma. Un sistema de mensajería Jabber consiste en un nodo servidor y varios nodos remotos, que pueden conectarse al servidor. El nodo es responsable rastrear a los usuarios y reenviar los mensajes en el momento oportuno.

Comparando ambos protocolos, Jabber es más flexible cuando tan sólo están disponibles los protocolos HTTP y HTTPS. Jabber es tan seguro como VPN, pues también emplea una combinación de SSL con HTTP. Finalmente, es el servidor y no la aplicación médica el responsable de rastrear el estado de los usuarios registrados, por lo que el protocolo garantiza que en cualquier instante la aplicación conoce el estado de todos los usuarios [11].

### 3. Pruebas experimentales del sistema

La red TENPET (Fig. 2) se está validando en términos de beneficios para el sistema de salud y reducción de costes, tanto a nivel nacional (España) como europeo (Alemania

y Francia). Su organización está basada en los procedimientos y protocolos actualmente aplicados por los actores del sistema sanitario, centros PET y hospitales. Además esta red telemática incluye los requisitos de cada usuario así como las restricciones y regulaciones impuestas por la Unión Europea (UE).

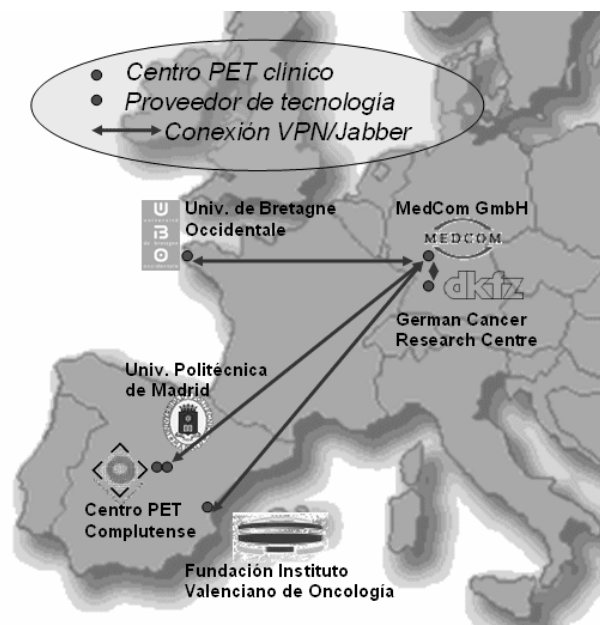


Figura 2. Los miembros del consorcio TENPET

### 4. Discusión

Este proyecto puede clasificarse en lo que ha sido denominado por la Sociedad (Norteamericana) de Medicina Nuclear como tele-medicina nuclear (*tele-nuclear medicine*). Esta sociedad ha publicado recientemente una lista de directivas que esbozan los requisitos de un sistema de tele-medicina nuclear [12]. Hasta la fecha, el requisito más importante de un sistema de estas características había sido el informado remoto, en especial en casos de emergencia [13]. Sin embargo las actividades en este campo han sido en los últimos años más bien escasas [14]. Recientemente un grupo francés informó sobre el desarrollo de un sistema electrónico, denominado *Positoscope*, el cual permitía la descarga de estudios PET, su visualización, informe y envío a los sistemas remotos para pedir consejo [15]. Este sistema tiene el aspecto de una consola, equipada con una pantalla táctil y un sistema de grabación de voz. El sistema puede conectarse a escáneres PET locales y a sistemas remotos con el propósito de enviar a otros expertos estudios PET complejos para su evaluación.

El proyecto TENPET va más allá de la realización de informes remotos, permitiendo al clínico realizar una sesión sobre un caso específico en línea y en tiempo real. Al mismo tiempo proporciona una plataforma avanzada para la visualización, análisis y procesado, así como la gestión de una base de datos propia, permitiendo una operativa autónoma. Además, se trata del único sistema actualmente disponible que puede enlazar al centro PET

con el médico que encargó la prueba, tratándose de un sistema sencillo que se ejecuta sobre un PC convencional, y que no requiere de una instalación o formación compleja. Gracias a la provisión de un conjunto de servicios accesibles por medio de un interfaz gráfico de fácil manejo, TENPET ofrece, las siguientes ventajas:

- Permite una comunicación ágil, precisa y libre de las imágenes entre el personal médico del centro PET y el médico que encargo la prueba.
- Permite al especialista nuclear acceder a los datos radiológicos del paciente (TAC, RM, etc.) en forma digital, listos para su registro y fusión con los datos PET. Hasta ahora la práctica común es que los informes PET contaban con un conjunto de placas anexas de TAC o RM, las cuales son visualizadas en el negatoscopio.
- Permite el intercambio de experiencias entre el personal médico de las distintas especialidades de los centros PET con propósitos científico, formativo o investigador.
- Reúne a los distintos centros PET europeos, rompiendo barreras culturales, lingüísticas y nacionales, estimula la formación una Asociación Europea para PET.
- Reúne en una misma plataforma los distintos avances en tecnología de imagen médica y telemática aplicada a la salud, donde el uso de esta plataforma puede extenderse a muchas aplicaciones de teleradiología, incrementando el tamaño del mercado potencial de los servicios desarrollados.

## 5. Conclusión

En el marco del proyecto TENPET se está evaluando una herramienta informática de teleconsulta y de trabajo cooperativo asistido por ordenador entre clínicos de la técnica PET en Europa. Se trata de afrontar el desafío tecnológico de conectar los Centros PET y desarrollar los servicios de soporte necesarios que permitan la consulta remota entre los médicos nucleares.

TENPET promueve la cooperación y mejora la comunicación entre los facultativos, permitiendo tanto la obtención de una segunda opinión como la formación de especialistas de modo remoto. Además permita a los clínicos consultar de modo remoto datos de los pacientes cuando se encuentra fuera de su lugar de trabajo habitual, por ejemplo atendiendo una unidad móvil. Gracias a la provisión de un conjunto de servicios accesibles por medio de un interfaz gráfico de fácil manejo, TENPET permite una comunicación ágil, precisa y libre de placas entre el personal médico del centro PET y el médico que encargo la prueba. Además acerca a los distintos centros PET europeos, rompiendo fronteras y barreras culturales, lingüísticas, mediante la integración en una misma plataforma de los distintos avances en tecnología de imagen médica y telemática aplicada a la salud. Se espera que una vez la red esté totalmente desplegada, TENPET

tenga un fuerte impacto en el desarrollo de nuevas habilidades por parte de los especialistas, y facilitará la creación de nuevas unidades PET periféricas.

## Agradecimientos

TENPET es un proyecto financiado por la Comisión Europea, en el marco del Programa eTEN (Trans-European Telecommunication Networks). Para acceder a los avances del proyecto: <http://www.tenpet.com>.

## Referencias

- [1] Proyecto TeleInViVo. Información disponible en Internet: <http://www.igd.fhg.de/teleinviVo> (consultado: Sept. 2005).
- [2] Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). Disponible en Internet: <http://medical.nema.org/> (consultado: Sept. 2005).
- [3] Haller JW, Caplan J: Medical Image Fusion, <http://www.radiology.uiowa.edu/NEWS/imagefusion.html>.
- [4] Firlre E, Chen W, Wesarg S: Registration of 3D U/S and CT Images of the Prostate. En: *Proc., Computer Assisted Radiology & Surgery 2002*, Springer Verlag, pp. 527-532.
- [5] Kitsos P, Goudevenos S, Koufopavlou O. VLSI implementations of the triple-DES block cipher. *Proc. 10<sup>th</sup> IEEE Intl. Conf. on Electronics, Circuits and Systems*, vol. 1: 76-79, Diciembre 2003.
- [6] Web server of jabber foundation. Disponible en Internet: <http://www.jabber.org> (consultado: Sept. 2005).
- [7] Debbabi M, Rahman, M: The war of presence and instant messaging: right protocols and APIs. En: *Proc. 1<sup>st</sup> IEEE Consumer Communications and Networking Conf. 2004*, pp. 341 – 346, Enero 2004.
- [8] Infomación disponible: <http://www.msn.net>; <http://www.aol.com>; <http://www.icq.com> (consultado: Sept. 2005).
- [9] Gao J, Modak M, Dornadula S. Mobile Jabber IM: a wireless-based text chatting system. En: *Proc. IEEE Intl. Conf e-Commerce Tech.*, 2004, pp. 337 – 341, Julio 2004.
- [10] Saito K. Maintaining trust in peer-to-peer barter relationships. En: *Proc. 2004 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT) Workshop*, pp. 582 – 588, Enero 2004.
- [11] Sachpazidis I, Ohl R and Sakas G: Instant messaging: A communication layer for medical applications. In: *Proc. 2<sup>nd</sup> Cairo Intl Biomedical Engineering Conf.*, Diciembre 2004.
- [12] Parker JA, Wallis JW, Jadvar H, et al. Procedure guideline for telenuclear medicine 1.0. *J. Nucl. Med.*, 43:1410-1413, 2002.
- [13] Parker JA, Wallis JW. Systems for Remote Interpretation of Emergency Studies. *Sem. Nucl. Med.*, 23(4): 324-330, Octubre 2003.
- [14] Slomka PJ, Elliott E, Driedger AA. Java-based remote viewing and processing of nuclear medicine images: Toward “the imaging department without walls”. *J. Nucl. Med.*, 41:111-118, 2000.
- [15] Bizais Y, Guédonc JP, Couturier O, et al: The POSITOSCOPE: an easy-to-use, communicating electronic lightbox. En: *Medical Imaging 2004: PACS and Imaging Informatics. Proc. SPIE*, vol. 5371, pp. 140-151, 2004.