

No part of this product may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means, including information storage and retrieval systems, without written permission from the IB.

Additionally, the license tied with this product prohibits commercial use of any selected files or extracts from this product. Use by third parties, including but not limited to publishers, private teachers, tutoring or study services, preparatory schools, vendors operating curriculum mapping services or teacher resource digital platforms and app developers, is not permitted and is subject to the IB's prior written consent via a license. More information on how to request a license can be obtained from <http://www.ibo.org/contact-the-ib/media-inquiries/for-publishers/guidance-for-third-party-publishers-and-providers/how-to-apply-for-a-license>.

Aucune partie de ce produit ne peut être reproduite sous quelque forme ni par quelque moyen que ce soit, électronique ou mécanique, y compris des systèmes de stockage et de récupération d'informations, sans l'autorisation écrite de l'IB.

De plus, la licence associée à ce produit interdit toute utilisation commerciale de tout fichier ou extrait sélectionné dans ce produit. L'utilisation par des tiers, y compris, sans toutefois s'y limiter, des éditeurs, des professeurs particuliers, des services de tutorat ou d'aide aux études, des établissements de préparation à l'enseignement supérieur, des fournisseurs de services de planification des programmes d'études, des gestionnaires de plateformes pédagogiques en ligne, et des développeurs d'applications, n'est pas autorisée et est soumise au consentement écrit préalable de l'IB par l'intermédiaire d'une licence. Pour plus d'informations sur la procédure à suivre pour demander une licence, rendez-vous à l'adresse <http://www.ibo.org/fr/contact-the-ib/media-inquiries/for-publishers/guidance-for-third-party-publishers-and-providers/how-to-apply-for-a-license>.

No se podrá reproducir ninguna parte de este producto de ninguna forma ni por ningún medio electrónico o mecánico, incluidos los sistemas de almacenamiento y recuperación de información, sin que medie la autorización escrita del IB.

Además, la licencia vinculada a este producto prohíbe el uso con fines comerciales de todo archivo o fragmento seleccionado de este producto. El uso por parte de terceros —lo que incluye, a título enunciativo, editoriales, profesores particulares, servicios de apoyo académico o ayuda para el estudio, colegios preparatorios, desarrolladores de aplicaciones y entidades que presten servicios de planificación curricular u ofrezcan recursos para docentes mediante plataformas digitales— no está permitido y estará sujeto al otorgamiento previo de una licencia escrita por parte del IB. En este enlace encontrará más información sobre cómo solicitar una licencia: <http://www.ibo.org/es/contact-the-ib/media-inquiries/for-publishers/guidance-for-third-party-publishers-and-providers/how-to-apply-for-a-license>.

Informática

Nivel superior

Prueba 3 – Estudio de caso: Un nuevo sistema de distribución asistida por computadora para Bangbai

Para usar en mayo y noviembre de 2019

Instrucciones para los alumnos

- Para la prueba 3 de nivel superior se requiere el cuadernillo del estudio de caso.

Introducción

Desde la introducción del *número de emergencia (emergency number)* “999” en 1937, muchos países han facilitado a la población servicios de emergencia por medio de un número de teléfono a nivel nacional. Las llamadas a tal número de emergencia se envían a un centro de llamadas conocido como *centro de control de emergencias (ECC – Emergency Control Centre)*, donde hay operadores específicamente capacitados que responden y envían el equipo de respuesta requerido según el tipo de emergencia. En muchos casos, los operadores utilizan sistemas de *Distribución Asistida por Computadora (CAD – Computer Aided Dispatch)* para coordinar el envío de la policía, bomberos y ambulancias al lugar de la emergencia. El CAD es un sistema de *seguridad crítica (safety-critical)*, y en *tiempo real (real-time)* que debe estar *sin tiempo de inactividad (zero downtime)*. En otras palabras, hay vidas que podrían estar en peligro si el sistema CAD no está disponible, si funciona lentamente, si deja de funcionar correctamente o si sus datos no son correctos.

Figura 1: Una pantalla de un sistema CAD que un operador de la sala de control está utilizando para enviar varios vehículos de bomberos



[Fuente: imagen adaptada (recortada): CAD 8-12 paint.png (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CAD_8-12_paint.png). Imagen por MPD01605 bajo licencia Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.]

15 Antes de que se generalizase la utilización de teléfonos inteligentes y tabletas, los sistemas CAD se comunicaban con la policía, bomberos y ambulancias usando terminales móviles de datos, radios bidireccionales y mensáfonos. A veces, los mensajes se transmitían por radio UHF o VHF porque, cuando se crearon estos sistemas, las tecnologías de comunicaciones inalámbricas de datos tales como 3G no estaban ampliamente disponibles o no eran fiables.

20 Los sistemas CAD se crearon para manejar una cantidad máxima específica de usuarios simultáneos, que era un límite impuesto por su arquitectura, protocolos y dependencia de distintas tecnologías. En los sistemas CAD más antiguos, es difícil aumentar su capacidad más allá de los límites superiores para los cuales se diseñaron, sin reemplazar el sistema completo y arriesgarse a que surjan fallos o tiempo de inactividad (tal como ocurrió en el sistema de distribución asistida por computadora del servicio de ambulancias de Londres en 1992).

25

Figura 2: Un terminal móvil de datos de un coche de policía recibe instrucciones de un sistema CAD mediante radio UHF



[Fuente: Terminal de datos portátil, foto de DAP Technologies, publicada originalmente en <https://commons.wikimedia.org> bajo la licencia CC 1.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/1.0/deed.es>]

Sistema CAD de Bangbai

La ciudad de Bangbai ha crecido muy rápidamente en la última década y está claro que su CAD ya no es suficiente. Esto ha salido a la luz en varios artículos publicados en redes sociales y periódicos locales. Por ejemplo, un coche de policía llegó a una dirección incorrecta para evitar un robo en un banco y se enviaron dos vehículos de bomberos más a un incendio que ya se había apagado una hora antes. A pesar de que la mayoría de los casos diarios todavía se maneja correctamente, ha habido una cantidad creciente de errores que podrían haberse cobrado vidas. Estos incidentes han impulsado a Tania Gupta, la alcaldesa, a pedir a un equipo liderado por Rahul Pandey, el director técnico, investigar y proponer una solución.

35 Problemas de escala

Rahul comenzó por investigar los incidentes que se comunicaron y concluyó que casi todos se relacionaban con el hecho de que el sistema tuviera un nivel más alto de uso que el que podía manejar según su diseño original. En unos pocos casos, un componente de hardware falló e hizo falta reemplazarlo, pero la mayoría de errores se debieron, sencillamente, a la incapacidad de manejar las crecientes demandas de una población más grande, porque se informaba de accidentes con una mayor frecuencia que antes.

Rahul revisó varios sistemas que habían tenido éxito en ciudades más grandes que habían manejado bien una población creciente. Se enteró de que el crecimiento de estos sistemas dependía de que se construyeran con una arquitectura escalable y extensible desde el inicio del proyecto. También usaban estándares y protocolos comunes para que estuvieran preparados para el futuro (*future-proof*) y fueran compatibles con otros sistemas informáticos. Entre los sistemas que tuvieron éxito había ejemplos de *software comercial* (*commercial software*), software como servicio (SaaS – *Software as a Service*) basado en la nube, y *software personalizado* (*custom software*). Un rasgo común de dichos sistemas era que todos se desarrollaron con una *arquitectura escalable* (*scalable architecture*) y que la decisión final acerca del producto, del servicio o del desarrollo dependía de los requisitos de cada ciudad.

Un sistema de información para la gestión de emergencias (EMIS – emergency management information system) para Bangbai

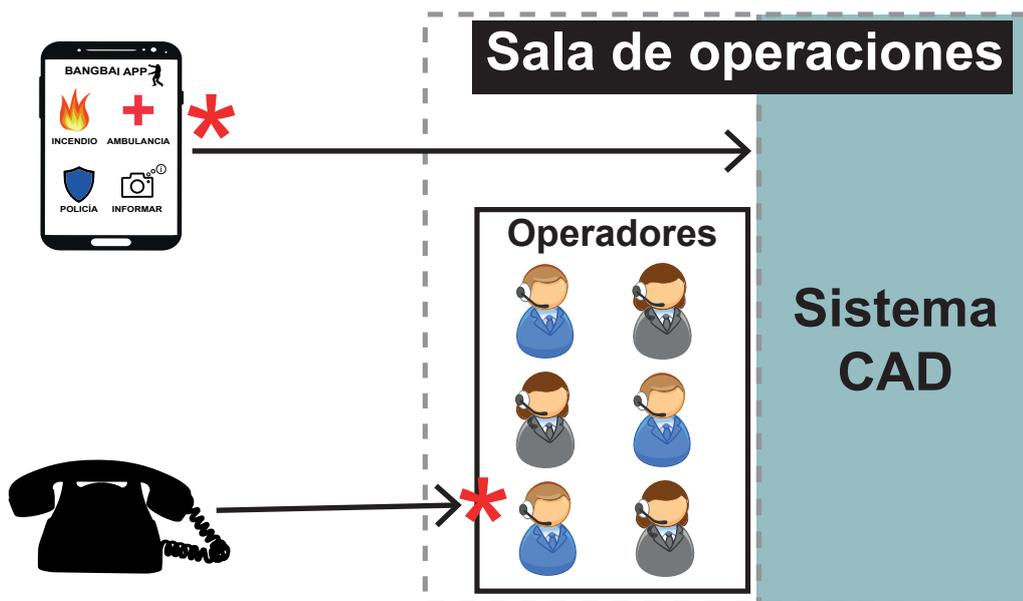
55 Rahul averiguó que casi todas las ciudades están comenzando a implementar un EMIS en vez de CAD. Un EMIS ayudaría a la ciudad a gestionar mejor los desastres, porque no solo cubre la respuesta a una emergencia sino también la preparación (desarrollar planes de contingencia previamente), la mitigación de riesgos (reconocer los peligros y determinar las amenazas potenciales futuras) y la recuperación (calcular los costos de un desastre y planificar la recuperación, la reconstrucción, etc.). Rahul quería que Bangbai tuviera a la larga un EMIS
60 completo, pero comprendió que la primera prioridad era reemplazar el sistema CAD existente con uno más idóneo, y a la vez permitir que se ampliara en el futuro.

Rahul se dedicó a resumir lo que había averiguado y a crear el primer borrador de una lista de requisitos. Estaba seguro de que había visto suficientes ejemplos para poder especificar la funcionalidad necesaria con el fin de lograr que el sistema de Bangbai fuera un éxito. Rahul
65 y su equipo presentaron sus recomendaciones a Tania junto con una estimación de costos requeridos para su diseño, desarrollo, implementación y pruebas.

Una aplicación de servicios de emergencia para los ciudadanos

Rahul informó a Tania de que el uso de las aplicaciones de teléfonos inteligentes en vez de llamadas telefónicas para informar de incidentes y entregar información había permitido
70 reducir el tamaño de los ECC en algunas ciudades y a la vez mejorar la velocidad y la calidad de los datos que se intercambian con los usuarios. El motivo de esto es que, en muchas situaciones, las aplicaciones de teléfonos inteligentes pueden obtener información del *sistema de posicionamiento global* (GPS – *global positioning system*) y proveer una ubicación precisa directamente al servidor con la petición de emergencia. La precisión de la ubicación
75 es fundamental para el éxito de una respuesta de emergencia, debido a que una dirección incorrecta podría retrasar la llegada de ayuda para las víctimas.

Figura 3: El uso de una aplicación de teléfonos inteligentes (parte superior) comparado con una llamada telefónica normal (parte inferior) para informar de incidentes



* Lugar en el que se agrega a la petición la información de la ubicación

Una aplicación de teléfonos inteligentes también podría mejorar las comunicaciones entre los usuarios y las unidades de respuesta al proveer a cada uno información actualizada continuamente a medida que avanza la situación. Después de que la aplicación haya enviado la ubicación del dispositivo y el tipo de emergencia (incendio, accidente en la carretera, etc.), puede continuar actualizando el servidor con cualquier cambio de ubicación y notificar al usuario el tiempo que resta hasta que lleguen los servicios de emergencia. El personal del ECC puede monitorizar las peticiones realizadas usando la aplicación y, en cualquier momento, puede iniciar una conversación con el usuario mediante VoIP para solicitar una aclaración de la situación o proveer instrucciones. La aplicación simplificaría este proceso al manejar todas las formas de comunicación entre el usuario y el EMIS, sin depender de otro software instalado en el teléfono inteligente. Rahul indicó que esto podría requerir crear un protocolo específico que use más de un canal de comunicaciones (por ejemplo, varios sockets de TCP/IP) (TCP/IP Sockets) con el fin de transmitir simultáneamente distintos tipos de datos. También haría falta una interfaz de programación de aplicaciones (API – application programming interface) para poder utilizar los servicios del sistema CAD, y a Rahul le indicaron que la mejor forma de hacerlo sería con una transferencia de estado representacional (REST – representational state transfer).

Los usuarios que no tuvieran una aplicación de teléfonos inteligentes instalada necesitarían llamar al número de emergencias. En tal caso, el personal del ECC pediría los detalles de la ubicación de quien llama, antes de enviar la petición mediante su aplicación de escritorio. Había una cantidad suficiente de operadores para manejar el volumen actual de llamadas, y el equipo de expertos de Rahul predijo que el uso de la aplicación disminuiría drásticamente las exigencias a las que se enfrentan los operadores del centro de llamadas. Por tanto, Rahul decidió monitorizar el uso del número de emergencias y reasignar personal del ECC a otras funciones si debido a la aplicación hubiera menos llamadas telefónicas. Mientras tanto, Rahul canceló las investigaciones posteriores sobre la viabilidad de actualizar la tecnología existente del centro de llamadas.

Informar acerca de temas no urgentes

La aplicación de emergencias también brindaría una oportunidad para el elemento de mitigación de riesgos de un EMIS, al adelantarse a problemas futuros y actuar antes de que se conviertan en problemas graves. Además de solicitar los servicios de emergencia, la aplicación de teléfonos inteligentes permitiría que los ciudadanos informen de temas no urgentes, tales como la congestión de tráfico, actividades sospechosas, riesgos para la salud y la seguridad públicas o incluso sugerir mejoras de servicios.

Figura 4: Ejemplo de un póster para promover el uso de la función “Informar” de la aplicación de Bangbai



[Fuente: imagen de tráfico de Max Pixel]

115 Cuando se utilice el modo “Informar”, la aplicación cargará una foto y una descripción de texto o un archivo de sonido grabado, junto con la ubicación del asunto no urgente (que podría ser distinta de la ubicación actual del teléfono). El servidor también recibirá datos adicionales sobre dispositivo, que podrían incluir información que identifique personalmente al ciudadano que es su dueño. Algunos usuarios potenciales han pedido que se desactiven los servicios de ubicación, o accederán al EMIS mediante una *red privada virtual* (VPN – *virtual private network*) o un *servidor proxy* (*proxy server*).

Vehículos de respuesta de emergencia

120 Rahul continuó explicando que en cuanto el sistema reciba la petición de emergencia, este buscaría el equipo de respuesta de emergencia más cercano que pueda abordar los requisitos de tal situación. Este equipo se enviaría automáticamente a la ubicación requerida.

125 El sistema CAD existente ya tiene una gran cantidad de dispositivos dedicados con un sistema operativo incorporado, instalados en la mayoría de vehículos de respuesta de emergencia. Hasta ahora, se han utilizado estos dispositivos heredados para actualizar el servidor central a intervalos periódicos con su ubicación de un modo sin estado (*stateless*). Sin embargo, debido a que estos dispositivos utilizan *HTTP* como protocolo, Rahul decidió que se podrían usar para proveer funcionalidad adicional a los equipos de respuesta de emergencia. Esto puede incluir sistemas de mensajería y consultas que requerirían una comunicación *con estado* (*stateful*) empleando *cookies* o *reescritura de URL* (*URL rewriting*) con el fin de mantener el estado entre peticiones.

Arquitectura de varios niveles (*multitier architecture*) y escalabilidad (*scalability*)

135 Para manejar la carga laboral creciente debido a que los ciudadanos informarán de muchos temas no urgentes y pedirán el envío automático de servicios de emergencia, el nuevo sistema debe desarrollarse en una arquitectura escalable y ser compatible con el desarrollo futuro en otras áreas del EMIS. El equipo de expertos de Rahul explicó que lo mejor sería separar el sistema en niveles que luego se distribuirían en tantos servidores como sea necesario para satisfacer las demandas de los usuarios. Rahul sabía que esto permitiría que se vuelvan a utilizar los componentes principales y, por ejemplo, se podría agregar con muy poco esfuerzo adicional una interfaz web para informar de emergencias y solicitar ayuda. Esta interfaz utilizaría los mismos servicios de lógica de niveles que las aplicaciones de teléfonos inteligentes y de escritorio.

145 El nuevo sistema CAD (la parte de “respuesta” del nuevo sistema EMIS de Bangbai) se implementará en un *grupo de servidores* (*cluster of servers*), que juntos podrán responder a consultas y proveer los servicios que requieren los usuarios. Las diferentes partes del sistema se dividirán en niveles utilizando una arquitectura de varios niveles para que, en el futuro, estos se puedan desplegar en varios servidores con el fin de aumentar la capacidad. Los tres niveles principales serán “presentación”, “lógica” y “datos”.

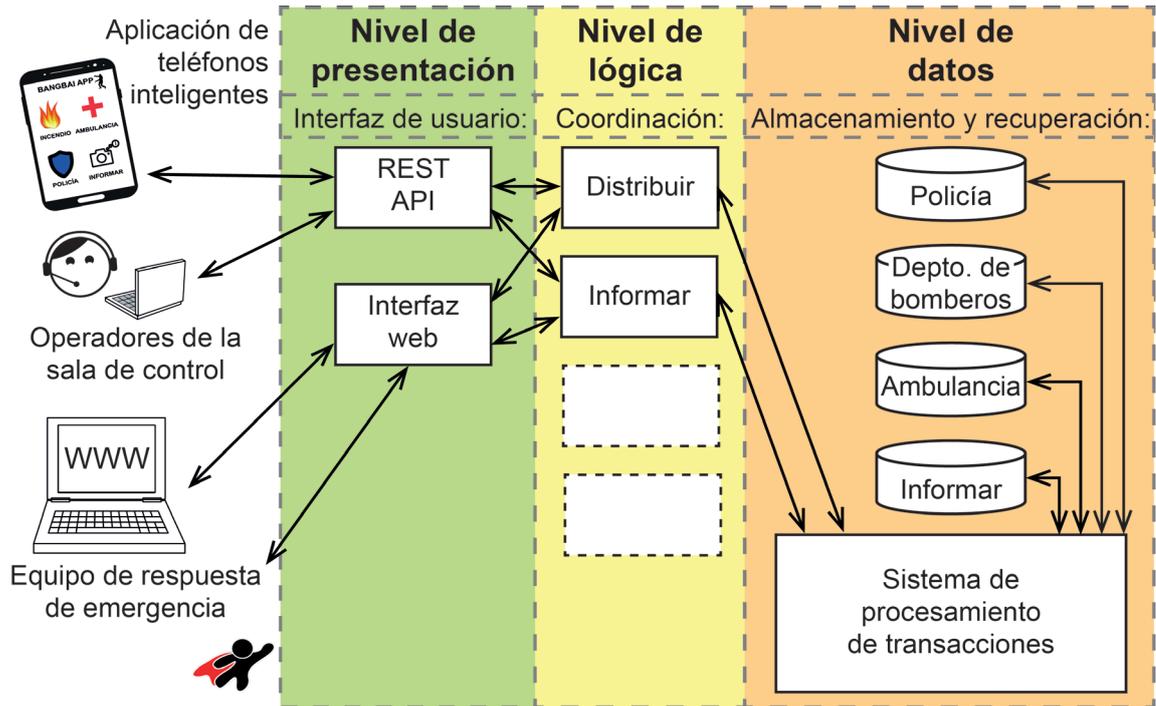
150 *El nivel de presentación* (*The Presentation Tier*) tendrá el código de la interfaz de usuario, que es la parte del sistema que se comunica directamente con la aplicación de teléfonos inteligentes, el personal del ECC y los dispositivos que utilizan los equipos de respuesta de emergencia.

El nivel de lógica (*The Logic Tier*) tiene algoritmos con los procedimientos o servicios principales del EMIS. Por ejemplo, aquí están todas las operaciones necesarias para coordinar los vehículos de respuesta.

155 El nivel de datos (*The Data Tier*) tiene el código que accede a las bases de datos u otras fuentes de datos. En un sistema tan complejo, los datos pueden distribuirse en distintos tipos de bases de datos, que se almacenarán en ubicaciones físicas diferentes. Todos los cambios de los datos deben efectuarse en transacciones y controlarse mediante un *sistema de procesamiento de transacciones* (TPS – *transaction processing system*). Esto significa que si hay un error que impida que parte de la operación se complete, todos los datos regresarían a su estado original anterior al inicio de la operación. De forma alternativa, si todas las partes de la transacción se realizan correctamente, se guardarán todos los cambios incluidos de las distintas bases de datos.

160

Figure 5: La arquitectura de varios niveles



[Fuente: © Organización del Bachillerato Internacional, 2019]

En los programas con arquitectura de varios niveles, un nivel debe comunicarse solo con otros programas que están en el mismo nivel o en los niveles que están a su lado. Por ejemplo, se evitaría que una aplicación en el lado del cliente solicite información directamente del nivel de datos sin pasar primero su solicitud por el nivel de lógica, que aplicaría la verificación de seguridad y credenciales adecuada, además de asegurarse de que todo lo demás esté bien antes de permitirle seguir al nivel de datos mediante el TPS.

165

Algoritmos de equilibrio de carga (load balancing algorithms)

170 A Rahul le preocupa que, como Bangbai está creciendo tan rápidamente, el aumento del uso podría generar una carga excesiva en los servidores en períodos muy ocupados. Rahul identificó varios algoritmos de equilibrio de carga que se pueden utilizar para resolver este problema al redirigir las peticiones a cualquiera de un grupo (*cluster*) de servidores, que podrían manejar la petición.

175 Cuando se agregan más servidores a un sistema, no necesariamente realizan todos exactamente las mismas funciones o servicios. Por ejemplo, si un servicio específico se utiliza mucho, se podrían agregar más servidores para manejar ese tipo específico de petición. La distribución de usuarios simultáneos en todos estos servidores podría considerar a qué servicios están intentando acceder los clientes, además de otros factores tales como la carga de trabajo actual de los servidores que están disponibles para responder a ese tipo de petición o servicio.

180

Rahul ha estado investigando los siguientes algoritmos para el equilibrio de carga:

- *aleatorio en el lado del cliente (client side random)*
 - *round robin ponderado (weighted round robin)*
- 185 • *hash de IP de fuente (source IP hash).*

A Rahul también le preocupa que muchos ciudadanos de Bangbai utilizarán la función de informar de la aplicación para cargar información realmente banal, tal como imágenes de basura en la acera, coches con neumáticos pinchados, gatos perdidos, etc.

Conmutación por error (failover)

- 190 Si un servidor no está disponible por cualquier motivo durante operaciones normales, otro servidor asumirá sus funciones, en caso de poder continuar con su trabajo. En algunos casos, el segundo servidor tendrá que contar con los detalles del estado actual de las interacciones con los usuarios del primer servidor, para poder continuar manejando sin problemas los procesos de estos usuarios.

195 Fiabilidad

Tania respondió positivamente a las ideas de Rahul. Sin embargo, le pidió que comprobase que el nuevo sistema EMIS fuera lo más fiable posible, al:

- (a) permitir que la capacidad del sistema se amplíe fácilmente (es decir, escalabilidad) según se requiera, al agregar servidores nuevos;
- 200 (b) incorporar hardware duplicado (es decir, redundante) que esté listo para asumir en el acto las funciones del hardware utilizado actualmente en caso de que este tenga un error de funcionamiento (es decir, conmutación por error).

Desafíos que se plantean

205 Hay varios desafíos que deben abordarse en el desarrollo del EMIS de Bangbai. Estos son los siguientes:

- iniciar la planificación de un sistema EMIS que maneje todo el trabajo actual del sistema CAD de una forma más escalable y extensible.
 - planificar el aumento de carga de trabajo para los servidores, para lo cual se investigan métodos comprobados, como proporcionar *redundancia (redundancy)*, conmutación por error, y equilibrio de carga.
- 210
- desarrollar una aplicación de teléfonos inteligentes que tenga una funcionalidad de emergencias y una función de informar, con el fin de permitir que los ciudadanos provean información de temas no urgentes.
 - utilizar los dispositivos heredados que ya están en los vehículos de respuesta de emergencia y a la vez cumplir con los requisitos del sistema propuesto.
- 215
- informar acerca de qué repercusiones tiene el proyecto para las partes interesadas clave, incluyendo un resumen de cualquier implicación legal o ética obvia.

Terminología adicional a la de la guía

Administración de sesiones (*session management*)
Aleatorio en el lado del cliente (*client side random*)
Algoritmo de equilibrio de carga (*load balancing algorithm*)
Arquitectura de varios niveles (*multitier architecture*)
Centro de control de emergencias (ECC – *emergency control centre*)
Con estado / sin estado / mantener el estado (*stateful / stateless / maintaining state*)
Conmutación por error (*failover*)
Cookies
Distribución asistida por computadora (CAD – *computer aided dispatch*)
Escalabilidad / arquitectura escalable (*scalability / scalable architecture*)
Grupo (*cluster*)
Grupo de servidores (*cluster of servers*)
Hash de IP de fuente (*source IP hash*)
Hash de IP de sesión (*session IP hash*)
HTTP o HTTP/2
Interfaz de programación de aplicaciones (API – *application programming interface*)
Número de emergencia (*emergency number*)
Preparados para el futuro (*future proof*)
Red privada virtual (VPN – *virtual private network*)
Redundancia (*redundancy*)
Reescritura de URL (*URL rewriting*)
Round robin ponderado (*weighted round robin*)
Seguridad crítica (*safety-critical*)
Servidor proxy (*proxy server*)
Sesión (*session*)
Sin tiempo de inactividad (*zero downtime*)
Sistema de información para la gestión de emergencias (EMIS – *emergency management Information system*)
Sistema de posicionamiento global (GPS – *global positioning system*)
Sistema de procesamiento de transacciones (TPS – *transaction processing system*)
Socket (*socket*)
Socket de TCP/IP (*TCP/IP sockets*)
Software comercial (*commercial software*)
Software personalizado (*custom software*)
Tiempo real (*real-time*)
Transferencia de estado representacional (REST – *representational state transfer*)
Voz sobre protocolo de Internet (VoIP – *voice over internet protocol*)

Algunas empresas, productos o personas nombradas en este estudio de caso son ficticios y cualquier semejanza con entidades reales es solamente una coincidencia.
