

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**CÓMPUTO CONSCIENTE DE LA ACTIVIDAD PARA EL DISEÑO DE
APLICACIONES MÉDICAS UBICUAS**

TESIS

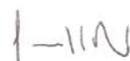
que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
DOCTOR EN CIENCIAS

Presenta:

MÓNICA ELIZABETH TENTORI ESPINOSA

Ensenada, Baja California, México, Noviembre, 2008

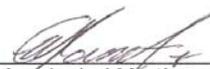
TESIS DEFENDIDA POR
Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



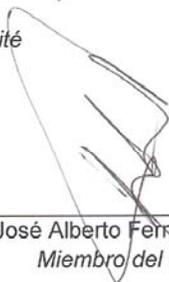
Dr. Jesús Favela Vara
Director del Comité



Dr. Víctor Manuel González y
González
Miembro del Comité



Dra. Ana Isabel Martínez García
Miembro del Comité



Dr. José Alberto Fernández Zepeda
Miembro del Comité



Dr. Pedro Gilberto López Mariscal
*Coordinador del programa de
posgrado en Ciencias de la
Computación*

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales
Director de Estudios de Posgrado

11 de Noviembre de 2008

RESUMEN de la tesis de **Mónica Elizabeth Tentori Espinosa**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de DOCTOR EN CIENCIAS en CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN. Ensenada, Baja California. Noviembre del 2008

COMPUTO CONSCIENTE DE LA ACTIVIDAD PARA EL DISEÑO DE APLICACIONES MÉDICAS UBICUAS

Resumen aprobado por:



Dr. Jesús Favela Vara
Director de Tesis

La idea del cómputo ubicuo de dotar un ambiente físico con dispositivos de diferentes escalas, con capacidades computacionales y de comunicaciones, introduce una carga adicional al usuario quién debe seleccionar los servicios y recursos que requiere en un momento determinado. El problema entonces es que mientras los humanos pensamos en términos de actividades y tareas, las computadoras “piensan” en términos de aplicaciones y documentos. Entonces existe una brecha entre proveer una interacción transparente y sutil, y la manera en que los diseñadores conciben sistemas de cómputo –piezas de software centrados en documentos y aplicaciones. El cómputo basado en la actividad emerge como un nuevo paradigma de diseño en interacción que permite reorganizar la manera en que los humanos interactúan con las computadoras reflejando las actividades que se están ejecutando en lugar de las tecnologías requeridas. Sin embargo, se ha comprobado que los usuarios no son tan buenos en la creación y delimitación de tareas. Para enfrentar este problema, proponemos llevar esta visión un paso más adelante, mezclando el contexto físico, computacional y de un usuario para inferir la actividad que se está ejecutando. El conocer esta información nos permitirá movernos del diseño de aplicaciones basadas en la actividad hacia el diseño de aplicaciones conscientes de la actividad.

En esta tesis se introduce el concepto de *Cómputo Consciente de la Actividad* como una intersección entre el cómputo basado en la actividad, reconocimiento de actividad y cómputo consciente del contexto. Una caracterización del trabajo médico nos permitió identificar un conjunto de escenarios utilizados como herramientas para definir la funcionalidad que deben soportar las actividades computacionales e ilustrar cómo las actividades se pueden la abstracción de diseño de sistemas UbiComp. Para satisfacer los principios de aplicaciones

conscientes de la actividad y enfrentar los retos en su diseño e implementación, se desarrolló una infraestructura, la cual permite la implementación y evolución de aplicaciones conscientes de la actividad. Además, se propuso un método que permite estimar las actividades del personal médico utilizando la información del caso de estudio. Para ilustrar la aplicabilidad y factibilidad de aplicaciones conscientes de la actividad en hospitales, presentamos el diseño e implementación de dos aplicaciones conscientes de la actividad que apoyan a las enfermeras en el monitoreo de pacientes y en el seguimiento de sus planes. La evaluación de una de estas aplicaciones mostró que los usuarios consideran útil y fácil de utilizar este tipo de aplicaciones.

La principal contribución de esta tesis es un marco conceptual que permite a los diseñadores conceptualizar aplicaciones conscientes de la actividad factibles y aplicables a un ambiente. Este marco conceptual incluye el concepto de cómputo consciente de la actividad, el concepto de actividad computacional y un conjunto de principios de diseño.

Palabras Clave: Cómputo consciente de la actividad, hospitales, reconocimiento de actividad, cómputo ubicuo, actividad computacional

ABSTRACT of the thesis presented by **Mónica Elizabeth Tentori Espinosa** as a partial requirement to obtain the DOCTOR OF SCIENCE degree in Computer Science. Ensenada, Baja California, México November, 2008.

ACTIVITY-AWARE COMPUTING FOR THE DESIGN OF UBIQUITOUS APPLICATIONS IN HOSPITALS

The idea of Ubiquitous Computing of saturating an environment with different type of devices, with computational and communication capabilities, introduces an extra burden for hospital workers in selecting those services that are adequate to the task at hand. The problem is that while humans think in terms of activities and tasks; computers think in terms of applications and documents. Therefore, there is a gap between how ubiquitous systems aim at provide a seamless interaction and the way designers envision this type of applications –as pieces of software centered in documents or applications. Activity-Based Computing (ABC) has emerged as a new interaction and design paradigm to reorganize the way humans interact with computers by reflecting the activity being executed rather than the technologies required. The problem in ABC is that humans must explicitly define computational activities and they often have trouble in labeling and delimiting tasks. To cope with this, we propose to take ABC's vision one step further by binding the physical, computing and user's context into the activity being executed by a user; resulting thus, in an activity-aware application.

In this thesis we introduce the concept of *Activity-aware computing* as an intersection among ABC, context-aware computing and activity recognition. A characterization of medical work allowed us to identify a set of scenarios used as tools to depict innovative uses of activity-aware applications in hospitals. To cope with the complexities associated in the development of activity-aware applications we developed an infrastructure that helps designers during the creation and evolution of activity-aware applications. In addition, we propose a method to infer the activities executed by hospital workers. To show the feasibility and applicability of activity-aware applications in hospitals, we described the design and implementation of two activity-aware applications that help nurses during the monitoring of patients and during the planning of their activities. The results of an evaluation conducted with one of these applications showed that nurses consider activity-aware applications useful and easy to use.

The main contribution of this thesis is a conceptual framework that allows designers envision activity-aware applications that are technologically feasible and useful. This conceptual framework includes the concept of activity-aware

computing, the concept of computational activity and a set of design principles for the implementation of activity-aware applications.

Palabras Clave: Activity-aware computing, hospitals, activity recognition, ubiquitous computing, computational activity

DEDICATORIA

A mi esposo, a mis padres y a mi hermana

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera especial al **Dr. Jesús Favela** por la confianza que deposito en mí y por haber guiado, inspirado y alentado mi trabajo de investigación. Le agradezco también todo el apoyo que me brindo, compartiendo conmigo sus conocimientos y consejos los cuales me ayudaron a formarme como investigadora. Gracias Dr. Favela sin sus sabios consejos no hubiera sido lo mismo.

Quiero agradecer también:

A Dios y a mis seres queridos que están con el,
por cuidarme y enseñarme el buen camino.

A Víctor, Marcela, y Polo por sus aportaciones a este trabajo y a mi formación.

A mi comité de Tesis: Dra. Ana Isabel Martínez García, Dr. José Alberto Fernández Zepeda, Dr. Víctor Manuel González y González por sus observaciones y correcciones que enriquecieron este trabajo de tesis.

A mi familia por su apoyo incondicional.

A todos mis amigos, los viejos y los nuevos que me aguantaron y que siempre estuvieron ahí para apoyarme en los momentos difíciles: Rene, Tania, Pedro, Mario, Liz, David, Leo y en especial a Lily, Marissa, Milton y Luis.

A los profesores del Departamento de Ciencias de la Computación que contribuyeron en mi formación.

Al personal médico del Hospital General IMSS de Ensenada por su apoyo durante el caso de estudio.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme económicamente con mis estudios de maestría.

A todos ustedes muchas gracias!

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	iii
Dedicatoria	vii
Agradecimientos	viii
Tabla de contenido	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tablas.....	xvi
<u>CAPITULO I. Introducción y motivación</u>	1
<i>I.1. Cómputo ubicuo y consciente del contexto</i>	<i>1</i>
<i>I.2. De sistemas basados en documentos a sistemas conscientes de la actividad</i>	<i>6</i>
<i>I.3. Preguntas de investigación</i>	<i>9</i>
<i>I.4. Objetivos general y específicos</i>	<i>10</i>
I.4.1. Objetivo general.....	10
I.4.2. Objetivos específicos	10
<i>I.5. Metodología</i>	<i>11</i>
<i>I.6. Contribuciones de la tesis</i>	<i>12</i>
I.6.1. Contenido de la tesis	14
<u>CAPITULO II. Cómputo consciente de la actividad</u>	16
<i>II.1. Bases cognoscitivas y teorías psicológicas de UbiComp.....</i>	<i>16</i>
II.1.1. Teoría de actividad	16
II.1.2. Acción situada	20
II.1.3. La exteriorización del cómputo basado en la actividad.....	22
<i>II.2. ¿Cómputo consciente de la actividad?</i>	<i>24</i>
<i>II.3. Trabajo relacionado y retos en cómputo consciente de la actividad.....</i>	<i>26</i>
II.3.1. Modelos y caracterizaciones de las actividades	27
II.3.2. Aplicaciones e infraestructuras centradas en la actividad	29
II.3.3. Estimación de actividades	32
II.3.4. Implantación de aplicaciones conscientes de la actividad.....	34
II.3.5. Métodos y métricas para evaluar aplicaciones conscientes de la actividad.....	36
<i>II.4. Resumen y discusión</i>	<i>37</i>
<u>CAPITULO III. Características de las actividades ejecutadas por el personal médico: El caso de estudio en un hospital</u>	38
<i>III.1. Metodología del estudio.....</i>	<i>38</i>
III.1.1. Contexto del estudio: Seleccionando su propósito y características	38
III.1.2. Entrenamiento: Usando técnicas de observación <i>in situ</i>	40
III.1.3. Recolección de información: Un estudio de observación <i>en sitio</i>	41
III.1.4. Análisis cualitativo y cuantitativo de la información recolectada	43

TABLA DE CONTENIDO (continuación)

<i>III.2. La naturaleza del trabajo hospitalario</i>	45
III.2.1. Actividades ejecutadas por el personal médico	45
III.2.2. Las rutinas del cuidado diario.....	51
III.2.3. Actividades monitoreadas por el personal médico	54
<i>III.3. La naturaleza de las actividades humanas</i>	56
III.3.1. Movilidad: Las personas que ejecutan las actividades están distribuidas	56
III.3.2. Interactividad: Las actividades son colaborativas	60
III.3.3. Administración de información: Una actividad involucra el uso heterogéneo de información	63
III.3.4. Fragmentación de actividades: Las actividades son dinámicas	67
<i>III.4. Resumen y discusión</i>	69
<u>CAPITULO IV. Estimación de actividades ejecutadas por el personal médico.....</u>	73
<i>IV.1. Recolección y pre-procesamiento de los datos</i>	73
<i>IV.2. Redes neuronales para estimar actividades</i>	75
IV.2.1. Definición de la arquitectura de la red neuronal.....	75
IV.2.2. Representación de los datos.....	77
IV.2.3. Resultados y discusión	79
<i>IV.3. Cadenas de Markov para estimar actividades</i>	84
IV.3.1. Información contextual relevante para la inferencia	84
IV.3.2. Representación de los datos.....	87
IV.3.3. Definición de un modelo de Markov en capas	89
IV.3.4. Resultados y discusión	91
IV.3.5. Estimación de las actividades de las rutinas del cuidado diario	93
IV.3.6. Prueba de robustez.....	94
<i>IV.4. Prueba con humanos expertos</i>	95
<i>IV.5. Resumen y discusión</i>	97
<u>CAPITULO V. Diseño de aplicaciones conscientes de la actividad.....</u>	100
<i>V.1. Escenarios conscientes de la actividad para el cuidado médico</i>	100
<i>V.2. Una actividad computacional (e-activity)</i>	104
V.2.1. El ciclo de vida de una actividad	105
V.2.2. Reactividad y proactividad	106
V.2.3. Identificación de una actividad computacional	106
<i>V.3. Principios del cómputo consciente de la actividad</i>	108
<i>V.4. Resumen y discusión</i>	110
<u>CAPITULO VI. Cómputo consciente de la actividad en pantallas ambientales para el monitoreo de actividades</u>	112
<i>VI.1. Pantallas ambientales</i>	112
<i>VI.2. El ADL Monitor: Una pantalla ambiental móvil</i>	114

TABLA DE CONTENIDO (continuación)

VI.2.2.	Diseño e implementación	118
VI.2.3.	Evaluación preeliminar.....	122
VI.2.4.	El FlowerBlink: Una pantalla ambiental fija.....	125
VI.3.	<i>Resumen y discusión</i>	<i>127</i>
<u>CAPITULO VII. AToM: Una infraestructura para el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad..... 128</u>		
VII.1.	<i>Requerimientos de AToM.....</i>	<i>128</i>
VII.2.	<i>AToM: Una anatomía consciente de la actividad.....</i>	<i>131</i>
VII.2.1.	Capa 1: Capa de acceso físico (Physical Access Layer)	131
VII.2.2.	Capa 2: Capa de representación (Depiction Layer).....	133
VII.2.3.	Capa 3: Capa de aplicación (Application Layer).....	135
VII.2.4.	Servidor	135
VII.3.	<i>Diseño de AToM</i>	<i>136</i>
VII.3.1.	Plataforma de comunicación	136
VII.3.2.	Estructura de un controlador AToM.....	140
VII.3.3.	Librería de clases de AToM	142
VII.4.	<i>Resumen y discusión</i>	<i>149</i>
<u>CAPITULO VIII. Cómputo consciente de la actividad para la planeación y seguimiento de actividades..... 150</u>		
VIII.1.	<i>El ACD Comic: Un sistema de seguimiento de planes</i>	<i>150</i>
VIII.1.1.	Servicios del ACD Comic	153
VIII.2.	<i>Diseño e implementación del ACD Comic.....</i>	<i>155</i>
VIII.2.1.	PhysicalAccessController (PA-c).....	156
VIII.2.2.	DepictionController (D-c).....	158
VIII.2.3.	To-do-list engine (TL-e)	160
VIII.2.4.	ActivityTeller engine (TL-e).....	163
VIII.3.	<i>Aplicación ejemplo</i>	<i>165</i>
VIII.4.	<i>Resumen y discusión</i>	<i>167</i>
<u>CAPITULO IX. Conclusiones y trabajo a futuro..... 168</u>		
IX.1.	<i>Contribuciones y resultados.....</i>	<i>168</i>
IX.1.1.	Introducción del concepto ‘cómputo consciente de la actividad’	168
IX.1.2.	Caracterización de las actividades humanas.....	169
IX.1.3.	Escenarios conscientes de la actividad en hospitales	170
IX.1.4.	Principios de diseño del cómputo consciente de la actividad.....	171
IX.1.5.	Un método para la captura y análisis de información detallada	172
IX.1.6.	Un método para estimar la actividad de los usuarios	173
IX.1.7.	Publicaciones de la tesis	174
IX.2.	<i>Implicaciones de implementar el cómputo consciente de la actividad</i>	<i>174</i>

TABLA DE CONTENIDO (continuación)

IX.2.1.	Aspectos a considerar para la recolección de datos <i>in situ</i>	174
IX.3.	<i>Trabajo a futuro</i>	177
IX.3.1.	Cómputo consciente de la actividad para la asistencia y valoración del deterioro cognitivo	177
IX.3.2.	Herramientas para la recolección de datos	179
IX.3.3.	Evaluación de aplicaciones conscientes de la actividad.....	182
IX.4.	<i>Conclusiones</i>	183
	Referencias	184

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Las tres olas de la computación.....	3
Figura 2. Un médico utiliza su PDA (a) para conocer la disponibilidad y ubicación de colegas y servicios (b) y para enviar mensajes contextuales (c)	4
Figura 3. En Kimura un usuario puede visualizar montajes en una pantalla pública	7
Figura 4. Metodología del trabajo de investigación	13
Figura 5. La actividad etiquetada como “120966-0089 Inger Pedersen [leucemia]” agrupa un conjunto de información y servicios relevantes a dicha tarea	23
Figura 6. Cómputo consciente de la actividad.....	25
Figura 7. El CareNet display	26
Figura 8. El Jardín UbiFit (a) pequeñas mariposas indican una meta reciente –la ausencia de flores indica que el usuario no realizó actividad (b) una vista del jardín cuando el usuario realizó actividades (c) un usuario consulta su jardín UbiFit en su celular	31
Figura 9 El guante detector de RFID	33
Figura 10. El Mobile Sensing Plataform –hardware descubierto y empotrado en el plástico	35
Figura 11 Metodología del estudio.....	38
Figura 12. Personal médico trabajando durante un día de observación (a) Una enfermera preparando medicinas (b) Una enfermera documentando información médica y (c) Médicos internos discutiendo un caso clínico con el médico de base.....	40
Figura 13 Estudio de observación (a) Un investigador siguiendo a un médico interno (b) Un reporte de la información capturada en el hospital (b) Un reporte de observación digital	43
Figura 14 Actividades ejecutadas por un interno durante un día típico de trabajo	47
Figura 15. Una enfermera ejecutando acciones del cuidado diario	51
Figura 16. Mapa de piso del área de medicina interna	56
Figura 17. Un vista simplificada de la arquitectura de la red neuronal utilizada para estimar las actividades ejecutadas por el personal médico	76
Figura 18. Transformación del reporte de observación a entradas y salidas de la red neuronal (a) Reporte de observación (b) Vector de entrada a la red neuronal.....	77
Figura 19. Porcentaje de error en el reconocimiento de actividad utilizando solamente información una variable contextual en la HMM	85
Figura 20. Promedio de ocurrencia de las variables contextuales en el vector de entrada	87
Figura 21. Transformación del reporte de observación a entradas y salidas al modelo oculto de Markov (a) Reporte de observación (b) Vector de entrada al HMM.....	88
Figura 22. Modelo simple en capas de dos niveles	89

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura 23. Modelo paralelo capas de dos niveles	90
Figura 24. Comparando la precisión del reconocimiento de las actividades que forman las rutinas del cuidado diario realizadas por HMMs y redes neuronales.....	93
Figura 25. Precisión de reconocimiento de actividad utilizando ruido en el vector de entrada	94
Figura 26. Comparando la precisión del reconocimiento de actividad por HMMs, redes neuronales y observadores expertos	98
Figura 27. Estructura de una actividad computacional.....	104
Figura 28 . El ADL monitor (a) Una enfermera utiliza su pulsera consciente (b) el asistente móvil muestra información relacionada con la actividad que un paciente está ejecutando (c) la enfermera utiliza su celular para asignar colores o (d) información contextual	115
Figura 29. Arquitectura del ADL Monitor	118
Figura 30 Unidades centrales del ADL monitor (a) Definición de la actividad computacional: orina (b) Regla para obtener la urgencia de una actividad.....	119
Figura 31 Diagrama de secuencia que muestra como la pulsera cambia de verde a amarillo y cómo la información de la actividad se modula en función al dispositivo que la despliega	120
Figura 32 Los componentes electrónicos de la pulsera (a) El transmisor utilizado por el servidor; (b) el receptor empotrado en la pulsera y; (c) la balanza WeightScale	122
Figura 33 El FlowerBlink (a) Las flores de emergencia notifican eventos relevantes (b) Las flores situacionales personalizan su información basadas en la presencia de una enfermera.....	126
Figura 34. Anatomía de una aplicación consciente de la actividad	131
Figura 35. Un Bosquejo de actividad (Activity Sketch) (a) Unidades lógicas de información sensadas por el lector (b) Unidades lógicas de información extraídas por el estimador	132
Figura 36. Una e-activity: Definición computacional de una actividad e historia	134
Figura 37. Un mensaje XML notificando la inferencia de una actividad al controlador B	138
Figura 38. Métodos de comunicación de AToM para la notificación de información	139
Figura 39. Métodos de comunicación de AToM para la solicitud de información	140
Figura 40. Estructura de un controlador AToM (a) Diagrama de clases de la estructura de un controlador (b) Ciclo de vida de un controlador AToM Inicializado	141
Figura 41. Marco de clases de AToM	143
Figura 42. Estructura de la capa de acceso físico (a) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes de la capa para crear un bosquejo de actividad (b) Fragmento del marco de clases de AToM que muestra las clases que componen la capa de acceso físico	144

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura 43. Estructura de la capa de representación (a) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes de la capa para crear un e-activity (b) Fragmento del marco de clases de AToM que muestra las clases que componen la capa de representación	145
Figura 44 Capa de aplicación (a) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes de la capa para registrar la ejecución de un servicio (b) Fragmento del marco de clases de AToM que muestra las clases que componen la capa de aplicación	147
Figura 45. (c) Fragmento del marco de clases de AToM que muestra las clases que componen al servidor	147
Figura 46 Estructura del servidor (a) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes del servidor para obtener información de su base de conocimiento (b) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes del servidor para actualizar información de su base de conocimiento.....	148
Figura 47. El to-do-list contextual (a) El to-do-list muestra a una enfermera sus actividades pendientes (b) Una enfermera recibe un recordatorio de una tarea pendiente (c) Una enfermera consulta la historia de las actividades que se han ejecutado con un paciente (d) El to-do-list le notifica a la enfermera que una tarea se ha recalendarizado	151
Figura 48. Screenshot del activity-teller.....	152
Figura 49. Arquitectura del ACD Comic.....	155
Figura 50. Elementos de la capa de acceso al físico (a) Segmento de código que muestra la implementación del lector de artefactos (b) Un bosquejo de actividad que indica el uso del artefacto termómetro y barómetro (c) Un bosquejo de actividad que indica el uso de artefacto barómetro (d) Un bosquejo de actividad que indica la actividad de toma de signos vitales	157
Figura 51. Segmento de código que muestra la actividad de toma de signos vitales	158
Figura 52. Elementos generados por la capa de representación (a) Actividad computacional de toma de signos vitales (b) Historia computacional de las acciones del cuidado diario	160
Figura 53 Diagrama de secuencia que muestra la calendarización de un historia computacional .	161
Figura 54. Diagrama de secuencia que muestra la identificación del estado de las actividades	164
Figura 55 Diagrama de secuencia revisitando el escenario de la planeación de actividades	166
Figura 56. Un investigador observando a una enfermera mientras usa el etnógrafo móvil para capturar los comportamientos.....	180
Figura 57. Herramientas para la recolección de datos <i>in situ</i> (a) La SenseCam (b) El iBracelet ...	181

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Tiempo promedio de observación de sujetos	42
Tabla II. Actividades: Tiempo en que el personal médico invierte en diferentes actividades.....	49
Tabla III Tiempo en que el personal médico invierten en ejecutar ACDs	53
Tabla IV Tiempo en que el personal médico invierte en cada centro de operación	58
Tabla V. Tiempo en que el personal médico permanece en su base y fuera de ella.....	59
Tabla VI Tiempo que el personal médico invierte interactuando con trabajadores hospitalarios	62
Tabla VII Tiempo que el personal médico utiliza artefactos.....	65
Tabla VIII Tiempo en que el personal médico invierte de manera continua en sus actividades	68
Tabla IX. Matriz de transición de una actividad a otra.....	69
Tabla X. Número de muestras utilizadas para entrenar y probar la red neuronal.....	74
Tabla XI. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por las enfermeras utilizando redes neuronales	80
Tabla XII. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por los médicos internos utilizando redes neuronales.....	80
Tabla XIII. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por los médicos de base utilizando redes neuronales	81
Tabla XIV. Porcentaje de error para la estimación de actividad por rol utilizando los dos modelos de Markov.....	91
Tabla XV. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por las enfermeras utilizando el modelo paralelo en capas de dos niveles	92
Tabla XVI. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por los médicos de base utilizando el modelo paralelo en capas de dos niveles	92
Tabla XVII. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por los médicos internos utilizando el modelo paralelo en capas de dos niveles	93
Tabla XVIII Matriz de estimaciones realizadas por los observadores expertos para la estimación de actividades ejecutadas por las enfermeras	96
Tabla XIX. Matriz de confusión para la estimación de la disponibilidad de los trabajadores hospitalarios utilizando modelos ocultos de Markov	99
Tabla XX Descripción de los eventos de AtoM generados cuando se percibe nueva información o se solicita la misma.....	137
Tabla XXI. Descripción de los métodos de la base de conocimiento.....	149

Capítulo I

Introducción y motivación

En este capítulo se describe la motivación de la tesis y se introduce el tema de investigación. Primero, se discute el problema de la tesis, así como, las teorías que forman la base de la misma –incluyendo Teoría de actividad (Nardi, 1996) y Acción situada (Suchman, 1987). Enseguida, se plantea la hipótesis de la tesis, la cual propone cambiar el diseño de aplicaciones basadas en la actividad hacia aplicaciones conscientes de la actividad. Posteriormente, se presentan las preguntas y los objetivos de esta investigación. Finalmente, se describe la metodología seguida, así como las contribuciones esperadas y la organización del manuscrito de tesis.

I.1. Cómputo ubicuo y consciente del contexto

Mark Weiser introdujo el área de cómputo ubicuo (UbiComp, por sus siglas en inglés ‘Ubiquitous Computing’) presentando una visión futurista de lo que se convertiría la computación en nuestros días (Weiser, 1991). La idea del *cómputo ubicuo* propone un ambiente físico dotado de dispositivos de diferentes escalas, con capacidades computacionales y de comunicaciones, los cuales se integran de forma natural a nuestras actividades diarias (Weiser, 1991; Satyanarayanan, 1992; Weiser, 1993). Es decir, los dispositivos computacionales se convierten en una herramienta de trabajo que solo requiere de nuestra atención periférica. La Figura 1 muestra lo que Weiser llamó las tres olas de la computación, donde la relación entre computadoras y dispositivos ha cambiado a través del tiempo.

La primera ola, designada por Weiser, se remonta a 1940 con el inicio de la computación y la construcción de la primera computadora electrónica de propósito general –la ENIAC. Esta máquina ocupaba todo un sótano de la Universidad, consumía 200KW de energía eléctrica y pesaba aproximadamente unas cinco toneladas –tenía la capacidad

para realizar cinco mil operaciones aritméticas por segundo. A partir de este momento surgen las computadoras centrales que atienden a miles de usuarios de manera simultánea conectados mediante terminales. Algunas computadoras centrales pueden ejecutar o dar cobijo a muchos sistemas operativos y por lo tanto, no funcionan como una computadora sola, sino como varias computadoras virtuales. En esta ola, una computadora provee servicios a muchos usuarios. Posteriormente, la segunda ola corresponde a la era de las computadoras personales. En donde, una microcomputadora de tamaño mediano es usada por una sola persona a la vez. Cambiando el paradigma de interacción propuesto en la primera ola de la computación, donde una computadora ahora provee servicios a un usuario. Finalmente, con la miniaturización de las computadoras, el incremento en su poder de procesamiento y los avances en comunicación inalámbrica, surgen las computadoras en miniatura, como celulares, mp3, cámaras, computadoras de bolsillo, entre otros. Entonces, la interacción cambia a un esquema en el cuál muchas computadoras ahora dan servicio a un usuario. Como se ilustra en la Figura 1, mientras la cantidad de usuarios que utilizan las computadoras centrales o personales van en descenso, el uso de computadoras miniaturas ha crecido de manera exponencial, permitiéndonos así entrar en la tercer ola de la computación –en la actualidad no es raro que una persona posea una computadora portátil, un celular, una cámara y un reproductor mp3.

Es así, como la interacción entre humanos y computadoras cambia, de una computadora para muchos usuarios hacia muchas computadoras para un usuario; moviendo el estilo de interacción hacia fuera del escritorio, es decir, al mundo real en donde los usuarios viven y actúan (Moran y Dourish, 2001). De esta manera, la interacción entre el humano y la computadora sucede en forma natural e implícita por lo que los usuarios no están concientes de la existencia de los dispositivos, sino únicamente de los servicios que éstos proveen. En este sentido, el cómputo ubicuo cambia la relación entre usuarios y dispositivos computacionales; a una relación, en donde las computadoras se encuentran invisibles y omnipresentes.

(Weiser, 1991) describe que: “*La tecnología mejor aceptada es aquella que desaparece. Esta tecnología se sumerge en nuestra vida cotidiana hasta que es indistinguible de la misma*”. En esencia, solo cuando cesamos de estar concientes de un objeto es cuando se pueden

describir su esencia, sin pensar en como utilizarlo o aprender a usarlo en su lugar enfocándonos a otras metas (i.e., el servicio que nos provee) (Weiser, 1993). Dicha invisibilidad es una consecuencia fundamental de la psicología humana, siempre que las personas aprendan una actividad lo suficientemente bien, cesan de estar conscientes de dicha actividad. Por ejemplo, cuando uno mira una señal de tránsito, absorbe esta información sin estar consciente que se ejecutó el acto de lectura.

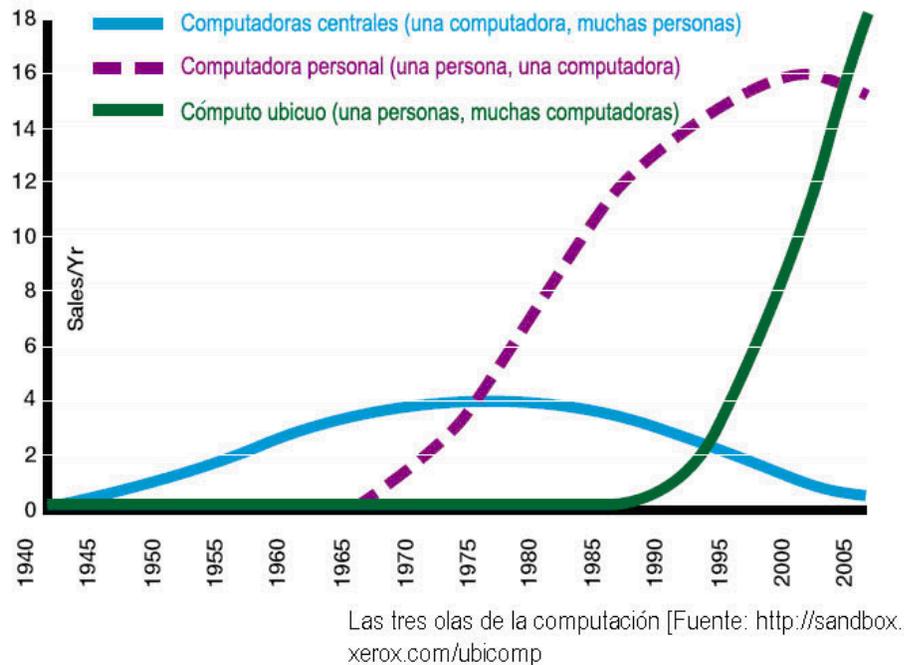


Figura 1. Las tres olas de la computación.
[Fuentes: Dr. Mark Weiser. *Nomadic Issues in Ubiquitous Computing*, 1996]

Por lo anterior, mucha investigación en interacción-humano computadora se ha enfocado en promover una nueva forma de interacción donde las computadoras son ‘*invisibles*’, ‘*proactivas*’ y ‘*desaparecidas*’, observando a través de sensores, el comportamiento de los usuarios y el ambiente, con el fin de ejecutar tareas en beneficio del usuario (Tennenhouse, 2000; Kumar, 2005; Streitz y Nixon, 2005). Un aspecto importante de esta nueva forma de interacción es la inferencia del *contexto* del usuario. De manera general, *el contexto es cualquier información que se puede usar para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, un lugar, o un objeto que se considera relevante en la*

interacción entre un usuario y una aplicación, pudiendo incluir al mismo usuario y a la misma aplicación (Dey y Abowd, 2000).

En dicha interacción, los humanos intuitivamente deducen e interpretan el contexto de la situación actual y reaccionan apropiadamente. Entonces, el manejo adecuado del contexto facilita la interacción entre usuarios y computadoras, logrando que la computadora reaccione, sin la interacción explícita del usuario. El problema es que las computadoras no son tan buenas como los humanos para inferir el contexto. Es por ello, que las aplicaciones no pueden fácilmente tomar ventaja de dicha información y generalmente, necesitan que los humanos explícitamente la proporcionen. En este sentido, el cómputo ubicuo más que infraestructura, sugiere nuevos paradigmas de interacción inspirados en el acceso adecuado de la información. Así, un sistema es *consciente del contexto si éste utiliza el contexto para proveer información relevante y/o servicios al usuario, donde la relevancia depende de la tarea actual del usuario* (Dey y Abowd, 2000). La Figura 2, muestra un sistema consciente del contexto que permite al personal médico, enviar mensajes contextuales y visualizar la localización de sus colegas (Munoz *et. al.*, 2003).



Figura 2. Un médico utiliza su PDA (a) para conocer la disponibilidad y ubicación de colegas y servicios (b) y para enviar mensajes contextuales (c)

Por ejemplo, un médico puede enviar un mensaje al médico del siguiente turno cuando éste se encuentre enfrente del paciente en la cama 222. En este caso, cuando el médico del segundo turno revisa al paciente en la cama 222 este mensaje automáticamente se muestra

en la pantalla de su PDA. En este caso, el médico, no tuvo que realizar ninguna operación para visualizar el mensaje debido a que su información contextual (i.e. su ubicación) permitió al sistema mostrarlo automáticamente adaptando su comportamiento en base a la información sensada del ambiente físico y computacional.

Así, la tecnología conciente del contexto se considera el corazón de los sistemas preactivos ya que permite que el sistema reaccione ante los cambios de contexto de los usuarios de manera automática. Sin embargo, los múltiples factores involucrados con las entidades que interactúan dentro de la computación conciente del contexto como la movilidad, comunicación, manejo de múltiples actividades, heterogeneidad, intrusividad, entre otros, hacen compleja la concepción de este tipo de sistemas y la administración de la información contextual. Estos problemas surgen en buena medida debido a que las computadoras, a diferencia de los humanos, no son tan buenas en identificar la información contextual relevante a su tarea. Por ejemplo, como lo expresa (Saha y Mukherjee, 2003):

“Existe más información disponible en la punta de nuestros dedos durante una caminata en el bosque que en un sistema computacional, sin embargo, los humanos encuentran el caminar alrededor de árboles placentero mientras que el uso de las computadoras frustrante. Computadoras que se ajusten a nuestro ambiente en lugar de forzar a los humanos a entrar al de ellas, permitirá concebir el uso de las computadoras relajante como el caminar en el bosque”

Como la metáfora ilustra, la mente humana puede navegar en ambientes donde la información esparcida es mayor a la que un sistema computacional puede procesar. Sin embargo, la forma en que la mente humana utiliza dicha información para su beneficio define su percepción de utilidad. En computación, el diseño de aplicaciones no aprovecha la información contextual para su beneficio, y peor aún, todavía vemos a las computadoras como dispositivos que ejecutan programas en el ambiente virtual al que los usuarios acceden para ejecutar una tarea. *Un dispositivo es un repositorio de datos configurable y manipulable por el usuario, en lugar de un portal a un espacio de datos. Una aplicación esta compuesta por piezas de código escritas para explotar las capacidades de un dispositivo, en lugar de una herramienta utilizada por el usuario para la ejecución de una tarea. Un ambiente computacional es un ambiente virtual en donde se almacena y se*

ejecuta software, en lugar de un espacio físico aumentado con información y/o aplicaciones.

El problema es que mientras los humanos pensamos en términos de actividades y tareas, las computadoras piensan en términos de aplicaciones y documentos. Entonces existe una brecha entre proveer una interacción transparente y sutil (como UbiComp sugiere) y la manera en que los diseñadores conciben sistemas de cómputo –piezas de código centrados en documentos y aplicaciones. Esto abre la oportunidad para cambiar el paradigma del diseño de sistemas hacia un paradigma en donde los retos de interacción entre usuarios y dispositivos sean abordados, permitiendo una interacción *transparente*. Diseñar sistemas que permitan reorganizar la manera en que los humanos interactúan con las computadoras enfatizando la actividad que están ejecutando en lugar de las tecnologías que requieren para ejecutar dicha actividad. La idea entonces es cambiar la unidad computacional de los sistemas de archivos (i.e. documentos) y aplicaciones (i.e. MS Word) hacia la *actividad del usuario*, tomando en cuenta el contexto cambiante del usuario y el ambiente. Solo si las aplicaciones están conscientes de la actividad ejecutada por el usuario pueden adaptar su comportamiento satisfaciendo sus necesidades.

I.2. De sistemas basados en documentos a sistemas conscientes de la actividad

El cómputo basado en actividad (ABC) es un paradigma de diseño e interacción que emerge con el fin de asistir la actividad humana por medio de un sistema computacional (Henderson y Card, 1986; Volda *et. al.*, 2002; Bardram y Christensen, 2007). La idea detrás de ABC consiste en cambiar la unidad computacional básica de documentos y aplicaciones hacia la actividad ejecutada por el usuario. El usuario final es asistido por *actividades computacionales* que se pueden instanciadas, suspendidas, almacenadas, resumidas y compartidas con cualquier dispositivo o entre varias personas (Bardram y Christensen, 2007). Un ejemplo de un sistema basado en actividad es Kimura (Volda *et. al.*, 2002). En Kimura, una actividad se modela como un ‘contexto de trabajo’ que almacena una colección de documentos y contactos, representando un montaje visual de

las interacciones con personas y objetos relacionados con cada actividad. Como se ilustra en la Figura 1, la forma y el tamaño de los recursos mostrados en el montaje visual toma en consideración la periodicidad de: (1) uso de documentos y/o (2) interacción con contactos. Cada montaje visual se asocia a una actividad y se presenta de manera sutil en el ambiente para no intervenir en el foco de la actividad ejecutada por un usuario –en una pantalla pública en la periferia del usuario. Por ejemplo, suponga que usted se encuentra escribiendo un artículo. La escritura de artículo corresponde a la actividad la cual tendrá un montaje visual asociado en función al contexto de trabajo. Dicho montaje visual mostrará, entonces, el material bibliográfico relacionado con el artículo que se está escribiendo, un editor de texto donde el artículo se está escribiendo, una impresora para imprimir el artículo y la foto de su co-autor (ver Figura 3b). Este montaje se muestra al usuario en su periferia, donde el usuario podrá seleccionar algún recurso para que éste se muestre en su computadora personal (ver Figura 3a).



Figura 3. En Kimura un usuario puede visualizar montajes en una pantalla pública

Sin embargo, para asistir las actividades de trabajo, los usuarios requieren administrar actividades computacionales¹ especificando de manera explícita los recursos (e.g., contactos, tareas pendientes, correos) asociados a una actividad, así como, seleccionando la tarea relevante a la tarea actual (Bardram y Christensen, 2007). Sin embargo, los usuarios generalmente tienen problemas delimitando y etiquetando nuevas tareas, y peor aún,

¹ Una actividad computacional es la representación computacional de una actividad humana (como un montaje visual en Kimura), donde se almacenan atributos, propiedades, operaciones y recursos relevantes a dicha actividad

muchas veces olvidan declarar cuando cambiaron de una actividad a otra. Es por ello que se han identificado problemas en el uso de aplicaciones basadas en la actividad relacionados con la identificación de las actividades y los recursos asociados a las mismas (Bardram *et. al.*, 2006). El problema es que en los sistemas basados en la actividad, como mSJ (Camacho *et. al.*, 2006), Rooms (Henderson y Card, 1986) o Kimura (Voids *et. al.*, 2002), los usuarios tienen que definir manualmente una actividad y sus recursos. Entonces el usuario debe sumergirse en la infraestructura tecnológica en lugar de que ésta se integre naturalmente a la tarea del usuario.

Este problema será acentuado con la introducción de UbiComp a nuestra vida diaria. Donde ahora tendremos muchos sistemas con una amplia variedad de funcionalidad en cada uno. Entonces la ejecución de una sola actividad involucrará el uso de diferentes sistemas, de diferente funcionalidad, características y presentación de información. Por ejemplo, cuando un médico discute un caso clínico con un colega, ambos podrían compartir el expediente médico del paciente, resaltar áreas de una radiografía y consultar un artículo relevante al caso clínico que están discutiendo. Ambos médicos deben buscar los documentos para enriquecer una discusión y las aplicaciones necesarias (como iniciar sesión para compartir la aplicación) para asociarlas a una actividad, etiquetar la actividad y ejecutarla. El problema entonces es que podrían perder más tiempo en configurar el ambiente computacional en lugar de enfocarse en su meta principal –la discusión del caso clínico. Entonces, el paradigma de sistemas basados en documentos y aplicaciones no está siendo del todo olvidado.

Un paso en la dirección correcta es utilizar el contexto para adaptar aplicaciones basadas en la actividad. A pesar de que conciencia del contexto y adaptación contextual son especialmente importantes para las aplicaciones ubicuas, el contexto de uso de dichas aplicaciones es extremadamente dinámico debido al trabajo múltiple de los usuarios, la necesidad de cambiar entre diferentes ambientes de trabajo, así como, cambios en las metas internas de los usuarios (Dunlop y Brewster, 2002). De esta forma, un inadecuado manejo de los cambios dinámicos del contexto puede llevar a la presentación de información y servicios desasociados de la meta actual del usuario. Como consecuencia, no es tarea fácil estipular qué información contextual es relevante y cómo se deben adaptar las

aplicaciones conscientes del contexto para presentar servicios e información relevantes a la tarea actual del usuario. Para enfrentar esta problemática, en esta tesis se propone una nueva solución para informar a las aplicaciones basadas en la actividad como adaptar su comportamiento para responder a las necesidades de sus usuarios hacia la creación de *aplicaciones consciente de la actividad*.

Sin embargo, el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad involucra muchos retos de diseño e interacción. Las actividades humanas son complejas y dinámicas y, dichas actividades ocurren en un mundo físico y social. Dicho mundo impone nuevos requerimientos y afecta la manera en que los usuarios conciben y conducen sus actividades. Entonces, es difícil analizar las actividades e identificar los problemas en la práctica diaria que se pueden mejorar con tecnología. Además de esto, el desarrollo de este tipo de aplicaciones para ser integradas en ambientes ubicuos genera múltiples retos tecnológicos –incluyendo desde aquellos relacionados con la representación de una actividad computacional hasta la evaluación e implantación de aplicaciones conscientes de la actividad. Entonces, para el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad debemos definir y representar la actividad desde un punto de vista computacional; así como determinar qué actividades se ejecutan en un momento dado. Actualmente, no es claro qué información es relevante para modelar actividades y como la actividad se puede estimar; entonces, se deben desarrollar soluciones robustas para inferir la actividad que ejecuta un usuario en conjunto con la tecnología necesaria para realizar dicha estimación. Estas soluciones deben establecer que información es relevante para inferir la actividad, cuánto sensado automático es necesario y qué tecnologías son apropiadas (Philipose *et. al.*, 2004). Finalmente, es importante evaluar el impacto de aplicaciones conscientes de la actividad en escenarios reales y no está claro qué técnicas de evaluación son útiles para evaluar el impacto de este tipo de aplicaciones.

I.3. Preguntas de investigación

Varias preguntas de investigación forman la base de esta tesis. La primera y la más importante se encuentra relacionada con el objetivo de la tesis y es la siguiente: *¿Cómo se*

pueden informar el proceso de adaptación de una aplicación consciente del contexto con el fin de mejorar la interacción de los usuarios con tecnología de cómputo ubicuo? Para responder esta pregunta otras más específicas surgieron:

- ¿Qué es actividad desde un punto de vista computacional?
- ¿Qué actividades son relevantes y qué nivel de abstracción es necesario para el diseño de aplicaciones conscientes de la actividad en soporte al trabajo hospitalario?
- ¿Cuáles son los servicios que debe proveer una aplicación consciente de la actividad?
- ¿Cómo se pueden estimar las actividades del personal médico?

I.4. Objetivos general y específicos

Los objetivos de investigación se plantearon para abordar las preguntas de investigación descritas.

I.4.1. Objetivo general

Conceptualizar un marco conceptual para el diseño e implementación de aplicaciones conscientes de la actividad tecnológicamente factibles y útiles en hospitales

I.4.2. Objetivos específicos

- Definir el concepto de “Computación Consciente de la Actividad”.
- Identificar las características y niveles de abstracción de las actividades desarrolladas por el personal médico en su práctica diaria.
- Proponer una representación computacional de actividad.
- Diseñar e implementar un método para estimar la actividad del personal médico.
- Diseñar un conjunto de escenarios de uso de tecnología consciente de la actividad para ambientes médicos.
- Definir los principios que deben cumplir las aplicaciones conscientes de la actividad.

- Diseñar e implementar una aplicación consciente de la actividad.

I.5. Metodología

La metodología seguida durante este trabajo de investigación se dividió en cuatro fases las cuales se describen a continuación (ver Figura 4).

Fase A: Estudio etnográfico

Esta fase tiene como objetivo identificar y entender las actividades substantivas del trabajo médico. Durante esta fase, se desarrolló un estudio de campo dentro de un hospital público de Ensenada, en el área de medicina interna. Durante este estudio, se observaron las prácticas diarias de las enfermeras operativas, médicos internos y médicos de base utilizando técnicas cualitativas, como estudios de sombra y entrevistas.

Fase B: Escenarios conscientes de la actividad e inferencia de actividades

Esta fase se encuentra dividida en dos sub-fases, durante las cuales se utilizó información recopilada en el estudio de campo. En la primer sub-fase se utilizó teoría fundamentada y análisis secuencial para caracterizar el trabajo médico. Tomando como base esta caracterización se generaron escenarios de diseño mostrando como la tecnología consciente del contexto provee soporte adecuado a las actividades realizadas por el personal médico. En la segunda sub-fase se proponen técnicas para identificar e implementar un método de estimación de las actividades realizadas con el personal médico.

Fase C: Diseño de aplicaciones conscientes de la actividad

Esta fase se encuentra dividida en tres sub-fases, las cuales de manera iterativa crearán un entendimiento de la actividad desde una perspectiva computacional, así como, escenarios de diseño de aplicaciones conscientes de la actividad; los cuáles servirán como base para identificar los servicios necesarios para el diseño e implementación de aplicaciones conscientes de la actividad. En la primer sub-fase, se utilizaron métodos de patrones, se identificaron los atributos, la representación del contexto, el ciclo de vida y los niveles de

abstracción necesarios para definir la actividad computacional. Esta definición sirve como base para modificar los escenarios de tecnología consciente del contexto propuestos en la fase B, hacia escenarios de tecnología consciente de la actividad. La tercer sub-fase, tomará como base los escenarios para identificar los requerimientos que deben cumplir los servicios para el diseño e implementación de este tipo de aplicaciones.

Fase D: Implementación de aplicaciones conscientes de la actividad

Esta fase se encuentra dividida en dos sub-fases, en las cuales se evalúa la factibilidad del diseño de aplicaciones conscientes de la actividad, así como la percepción de los usuarios hacia dichas aplicaciones. En la primer sub-fase, se implementaron aplicaciones consciente de la actividad, así como los servicios propuestos. Esta sub-fase también proporciona retroalimentación a la fase anterior para validar los servicios y la definición de actividad computacional.

I.6. Contribuciones de la tesis

Las siguientes son las contribuciones principales de la tesis:

- Se introdujo el concepto de cómputo consciente de la actividad.
- Se caracterizó la naturaleza del trabajo hospitalario.
- Se identificaron un conjunto de escenarios de uso de sistemas de cómputo conscientes de la actividad.
- Se identificaron un conjunto de principios de diseño para el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad y una infraestructura para su implementación.
- Se propuso un método para capturar información detallada *en sitio* y analizar esta información.
- Se propuso un método para estimar la actividad de los usuarios.
- Se propuso un método y una herramienta para analizar el trabajo *in situ* y transformar esta información en entrada para algoritmos de reconocimiento de patrones que permitan estimar la actividad de los usuarios.
- Se implementaron dos aplicaciones conscientes de la actividad.

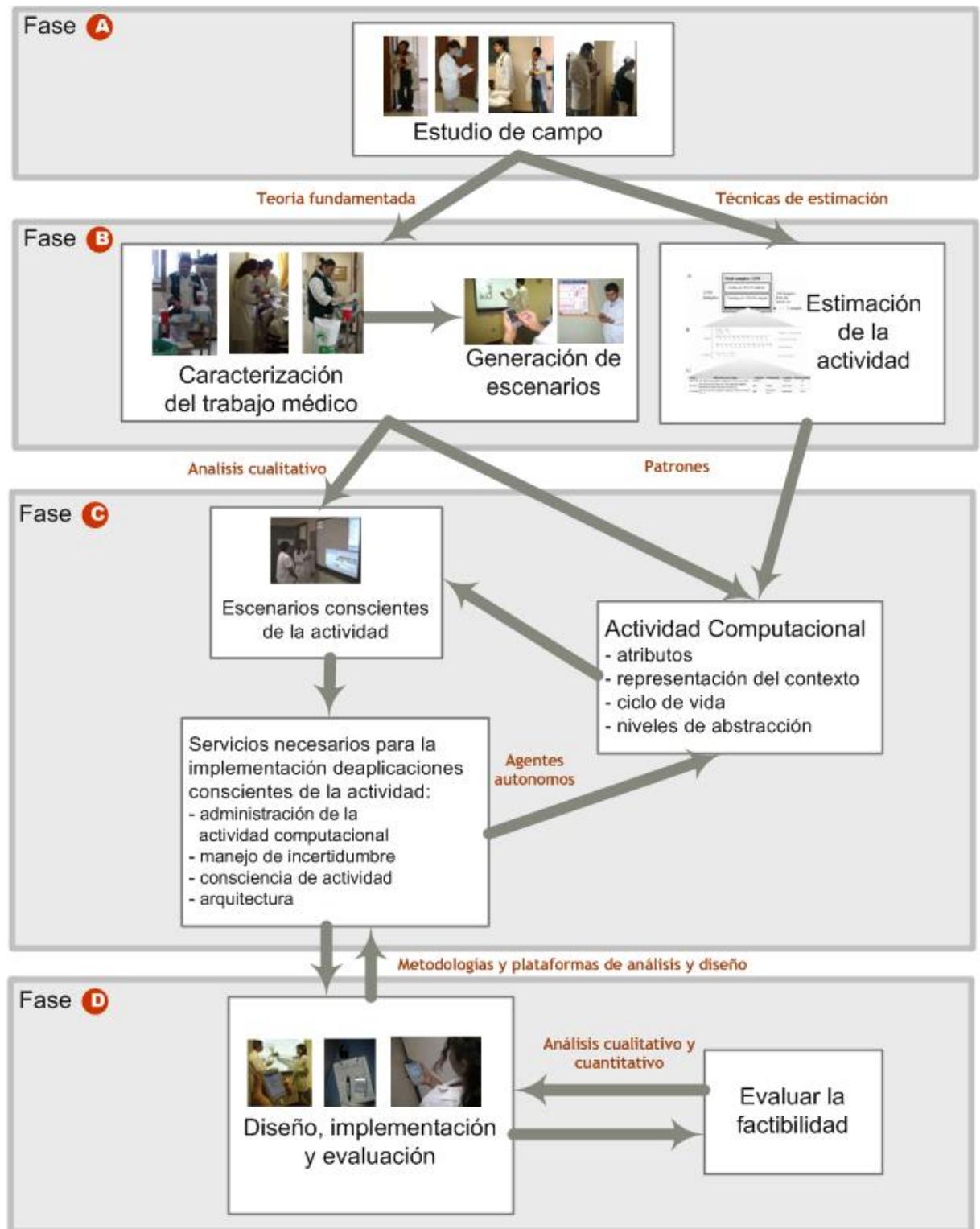


Figura 4. Metodología del trabajo de investigación

I.6.1. Contenido de la tesis

El **CAPÍTULO 2** (*Cómputo consciente de la actividad*) introduce el paradigma de cómputo consciente de la actividad, y explica sus orígenes y bases conceptuales, así como los retos en el desarrollo y la aplicabilidad de este tipo de aplicaciones.

El **CAPÍTULO 3** (*Características de las actividades ejecutadas por el personal médico: Caso de estudio en un hospital*) resume un caso de estudio realizado en un hospital público, con el fin de entender las actividades ejecutadas por el personal médico y utilizar esta información para caracterizar su trabajo –cuantificar su movilidad, interactividad, fragmentación de actividades y el tiempo que invierten en la ejecución de sus tareas. Esta información se utilizó para obtener los escenarios de uso donde se muestran las ideas de diseño de aplicaciones conscientes de la actividad.

El **CAPÍTULO 4** (*Estimación de actividades ejecutadas por el personal médico*) describe el uso de técnicas de reconocimiento de patrones para estimar las actividades ejecutadas por el personal médico utilizando los datos del estudio como entradas.

El **CAPÍTULO 5** (*Diseño de aplicaciones conscientes de la actividad*) resume un conjunto de escenarios de uso que ilustran la aplicabilidad del cómputo consciente de la actividad en hospitales y describe los principios de diseño que una aplicación consciente de la actividad debe incorporar.

El **CAPÍTULO 6** (*Cómputo consciente de la actividad en pantallas ambientales para el monitoreo de actividades*) presenta el diseño e implementación de dos pantallas ambientales conscientes de la actividad las cuales permiten establecer una conexión entre el paciente y una enfermera.

El **CAPÍTULO 7** (*AToM: Una anatomía consciente de la actividad*) resume el diseño de una infraestructura que facilita el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad – An Activity-aware anaTomy for ubicoMp (AToM).

El **CAPÍTULO 8** (*Cómputo consciente de la actividad para la planeación y seguimiento de actividades*) describe el diseño e implementación de un sistema consciente de la actividad que apoya a las enfermeras en la planeación y el seguimiento de sus actividades.

El **CAPÍTULO 9** (*Conclusiones y trabajo a futuro*) presenta las conclusiones y reflexiones acerca de esta tesis y el trabajo de investigación, así como, direcciones para trabajo a futuro.

Capítulo II

Cómputo consciente de la actividad

En este capítulo se discute el marco teórico de la tesis, se introduce el concepto de cómputo consciente de la actividad, así como un marco conceptual para el diseño de aplicaciones conscientes de la actividad. Primero se introducen la teoría de acción situada y la teoría de actividad que son la base del cómputo consciente de la actividad –concepto introducido en esta tesis. Finalmente, se presenta el concepto de cómputo consciente de la actividad y los retos para el desarrollo de este tipo de aplicaciones.

II.1. Bases cognoscitivas y teorías psicológicas de UbiComp

En esta sección se presenta la teoría de actividad y acción situada como teorías base para entender cómo los humanos interactúan con su ambiente. Posteriormente, se discute como estas teorías inspiran el desarrollo de un nuevo paradigma de interacción y diseño computacional, cómputo basado de actividad –un paradigma que permite a los usuarios interactuar más naturalmente con el ambiente que los rodea. Enseguida, se presentan los problemas de interacción de los usuarios con este nuevo paradigma. Finalmente, se discute cómo el cómputo consciente del contexto puede enriquecer al cómputo basado en la actividad y a su vez el cómputo basado en la actividad puede enriquecer al cómputo consciente del contexto para lograr un nuevo paradigma de interacción y diseño –cómputo consciente de la actividad.

II.1.1. Teoría de actividad

La *Teoría de actividad* describe a la actividad humana como una jerarquía de actividades, acciones y operaciones (Leont'ev, 1981). (Leont'ev, 1981) resalta que las acciones y operaciones no se pueden apartar sin violar la esencia de una actividad humana, así como

no se pueden aislar sodio y cloruro si queremos entender la sal (Nardi, 1996). Esta teoría resalta los siguientes puntos:

- La mente humana se puede entender únicamente en el contexto de cómo los humanos interactúan con el mundo y;
- Esta interacción (entre los seres humanos y el mundo) se determina social y culturalmente por la actividad.

Teoría de actividad elabora sobre estas ideas en los siguientes principios:

Estructura jerárquica de una actividad

De acuerdo con (Leont'ev, 1981), la interacción entre humanos y el mundo se encuentra organizada en niveles jerárquicos. (Leont'ev, 1981) diferenció estos niveles en tres: actividades, acciones y operaciones. Las actividades se realizan para permitir alcanzar *motivos*. Los motivos se consideran como objetivos de alto nivel que no se pueden subdividir en más motivos. Detrás de un *motivo* “... siempre se encuentra una necesidad o un deseo, ante el cual [la actividad] siempre responde” (Leont'ev, 1981). Las personas pueden o no estar conscientes de sus motivos. Por ejemplo, el motivo de todo trabajador hospitalario es proveer calidad de atención al paciente –este motivo es de alto nivel y se puede visualizar como un objetivo que guía todas las actividades ejecutadas por el personal médico. Por otro lado, las acciones son procesos guiados por metas que deben ser ejecutadas para realizar un motivo. Por ejemplo, un médico interno puede escribir una historia clínica para enriquecer la discusión de la valoración de un caso clínico. Escribir la historia clínica por sí sola puede ser una acción respecto al motivo de proveer calidad de atención al paciente. Las personas cuando ejecutan las acciones se encuentran conscientes de sus metas. Las metas pueden dividirse en metas de bajo nivel, que a su vez, pueden tener más metas de bajo nivel –parecido al concepto de metas y sub.-metas en inteligencia artificial. Por ejemplo, escribir la historia clínica de un paciente puede involucrar hablar con otro médico para discutir el diagnóstico del paciente, actividad que puede involucrar la calendarización de una reunión para la discusión, actividad que a su vez requiere que el médico calendarice la nueva reunión. Las acciones son similares a lo que se conoce en la literatura de HCI como *tareas* (Norman, 1991). Bajando en la jerarquía de acciones

cruzamos la frontera entre consciencia y procesos automáticos. Las *operaciones* son sub-unidades funcionales de acciones que se ejecutan de manera automática. Las operaciones no tienen sus propias metas; en lugar ajustan acciones a situaciones actuales; es decir, las acciones se transforman en operaciones cuando éstas se convierten en rutinas y se ejecutan de manera inconsciente en la práctica. Por ejemplo, cuando aprendemos a manejar, el cambiar de carril es una acción con una meta explícita que un conductor atiende de manera consciente. Cuando hemos aprendido, la acción de cambiarnos de carril se vuelve *operacional* y “no puede seguir siendo entendida como un proceso dirigido por metas; el conductor ya no selecciona esta meta ni está consciente de la misma” (Nardi, 1996). Al contrario, una operación puede convertirse en una acción cuando “las condiciones del contexto impiden la ejecución de esta [acción] a través de operaciones previamente formadas” (Leont'ev, 1981). Por ejemplo, si el médico interno está escribiendo la nota médica en una máquina de escribir y la máquina se descompone, el médico interno continuará escribiendo la nota médica a mano (sustituyendo el mecanismo), sin embargo no está consciente del uso de otro medio. Este movimiento dinámico hacia Llega y abajo en la jerarquía distingue la jerarquía de teoría de actividad de modelos estáticos como GOMS (Stuart *et. al.*, 1983) o esferas de trabajo (González y Mark., 2004).

Interiorización y exteriorización

La teoría de actividad diferencia entre actividades internas y externas. La noción tradicional de los procesos mentales (como ciencia cognitiva) corresponde a las actividades internas, como calcular una suma². La teoría de actividad enfatiza que las actividades internas no se pueden entender si éstas se analizan separadamente o aisladas de las actividades externas, por que la constante transformación entre procesos internos y externos es la base de la cognición humana y de la actividad. *Internalización* es la transformación de actividades externas en internas. La teoría de actividad enfatiza que no solo las representaciones mentales tienen lugar en la mente de un individuo, sino toda la actividad, incluyendo las personas involucradas y el uso de artefactos, los cuales son

² Este ejemplo se tomó del utilizado por Bonnie Nardi de su libro: “Nardi, B. A., 1996. Context and Consciousness: Activity Theory and Human-computer Interaction, Cambridge, MA: The MIT Press” –cita referenciada en esta tesis.

cruciales para la interiorización. Por ejemplo, en las etapas iniciales de aprender a realizar cálculos una persona puede utilizar los dedos o ábacos para apoyar su aprendizaje. Una vez que la aritmética es interiorizada, los cálculos pueden realizarse en la cabeza sin la necesidad de ayudas externas. *Internalización* provee los medios a las personas para tener interacciones potenciales con la realidad sin necesidad de manipular objetos reales (simulaciones mentales, considerar planes alternativos, etcétera). Entonces, interiorización puede ayudar a un individuo a identificar acciones óptimas antes de ejecutar una acción externamente. *Exteriorización* transforma actividades internas en externas. *Exteriorización* es normalmente necesaria cuando una acción interiorizada se necesita reparar o escalar, como cuando un cálculo es erróneo cuando se realiza mentalmente o es muy grande para ejecutarse sin papel y lápiz (u otros artefactos externos). Exteriorización es también importante cuando se colabora con varias personas y se requiere que las actividades internas de un individuo se externen explícitamente para que se puedan coordinar.

Mediación

La teoría de actividad enfatiza los factores sociales y la interacción entre personas y su ambiente por lo que la *mediación* tiene un rol central en esta teoría. Primero, las herramientas moldean la manera en que los humanos interactúan con la realidad –moldear actividades externas da lugar a moldear las internas. Segundo, las herramientas usualmente reflejan la experiencia de otras personas que trataron de resolver problemas similares. Esta experiencia se acumula en:

- las propiedades estructurales de las herramientas (tamaño, forma y material) y
- el conocimiento de cómo las herramientas se deben utilizar –como la idea de affordances³.

El segundo punto es crítico para teoría de actividad. Teoría de actividad enfatiza que la herramienta alcanza su plenitud cuando ésta se *utiliza* y, el conocer como usarla es parte crucial de la herramienta. Entonces, el uso de herramientas es una acumulación y

³ La teoría de *affordance* es una característica de un objeto, o un ambiente, que permite al individuo ejecutar una acción o descubrir cómo usar dicho objeto u acción. Por ejemplo, el tamaño y forma de una pelota de beisbol cabe perfectamente en la mano de un humano, y su densidad y textura la convierten en un objeto ideal para lanzarse.

transmisión de conocimiento, el cual influencía el funcionamiento mental de individuos y su comportamiento externo. El concepto de herramienta en teoría de actividad es amplio, abarcando tantas herramientas técnicas, las cuales están diseñadas para manipular objetos físicos (e.g., un bisturí), y objetos psicológicos, los cuales se usan por los humanos para influenciar a otras personas o a ellos mismos (e.g., el censo de pacientes o un calendario).

Los principios básicos de teoría de actividad deben considerarse como un sistema integrado, por que éstos se asocian con varios aspectos de toda la actividad. Por ejemplo, entender la *estructura jerárquica* de una actividad requiere un análisis de su *objeto* y *motivo*, así como, de su transformación *evolutiva* entre acciones y operaciones y entre componentes *internos* y *externos*.

II.1.2. Acción situada

Los modelos de acción situada enfatizan la manera en que la actividad cambia directamente influenciada por las particularidades de una situación dada. Simplemente, acción situada es cómo las personas actúan ante una situación. (Suchman, 1987) explica esta teoría estipulando lo siguiente:

En lugar de intentar abstraer una acción hacia fuera de sus circunstancias y representarla como un plan racional, la solución es estudiar como las personas usan sus circunstancias para ejecutar una acción inteligentemente. En lugar de construir una teoría de acción o una teoría de planes, el objetivo es investigar cómo las personas producen y encuentran evidencia para sus planes en el curso de una acción situada.

Las personas frecuentemente tienen planes de acción modelados en sus cabezas, pero podrían necesitar cambiar su plan dependiendo de lo que está sucediendo en una situación específica. Ellas usan sus habilidades o experiencias pasadas para resolver la situación. Para explicar esto, (Suchman, 1987) proporciona un ejemplo de cómo los planes de los humanos al cruzar los ríos rápidos en una canoa cambian respecto a los problemas presentados cuando la acción está en curso:

“... si planeáramos remar a través de los rápidos en una canoa, es muy probable que nuestro objetivo fuera quedarnos por encima de las cataratas lo más posible. El plan podría ser algo como lo que sigue: “Remaré lo más lejos de la orilla como sea posible, trataré de pasar entre esas dos grandes rocas, y luego viraré a la derecha para rodear este conjunto de rocas”. Un fuerte componente de deliberación, discusión, simulación y reconstrucción puede estar inmiscuido en ese plan. Pero, a pesar de lo detallado del plan, este podría no funcionar cuando realmente se pone en práctica. Cuando realmente lo ejecutamos y respondiendo a los posibles problemas enfrentados durante su ejecución abandonamos cualquier plan minuciosamente concebido y hacemos uso de cualquier habilidad que poseamos para resolver el problema en el que estamos metidos”.

Esta situación es relevante para la acción situada ya que muestra como las personas construyen planes detallados antes de ejecutar una actividad. También muestra como el plan cambia una vez que las personas se encuentran ejecutando la actividad. (Suchman, 1987) cree que las personas construimos nuestros planes conforme cambie la situación en que ejecutamos nuestra actividad, creando y alterando nuestro siguiente movimiento basados en lo que acaba de suceder. Las personas pueden intentar realizar un plan, pero en última instancia la situación determinará como el plan será ejecutado en la realidad. En muchas ocasiones, las personas pueden actuar *ad hoc* a la situación, por ejemplo, (Suchman, 1987) nos provee el siguiente ejemplo:

A un participante de un concurso se le asigna la tarea de servir un tazón de queso que debe ser tres cuartos de los dos tercios del tazón de queso que el concurso provee normalmente. Para encontrar la cantidad correcta de queso, el participante, después de pensar un poco el problema, coloca dos tercios de queso en un tazón, lo vacía en una tabla de picar, crea un círculo con el queso, marca una cruz en el círculo, separa un cuadrante y sirve el resto (Nardi, 1996).

(Suchman, 1987) explica que *“nosotros generalmente no anticipamos cursos alternativos de acción, o sus consecuencias, hasta que algún curso de acción se haya empezado a ejecutar”*. Estas ideas de actuar de acuerdo a lo que está sucediendo es la personificación de la acción situada. La idea es ver como los humanos interactúan con las máquinas de

acuerdo a lo que está sucediendo. Entonces, los usuarios normalmente no siguen sus planes, ya que éstos están cambiando siempre de acuerdo a sus actividades y a lo que sucede a su alrededor.

II.1.3. La exteriorización del cómputo basado en la actividad

La teoría de actividad provee una base teórica de la estructura de las actividades humanas y permite resaltar los problemas a ser explorados al analizar las actividades humanas. El cómputo basado en la actividad explota esta estructura de actividades para crear un nuevo paradigma de interacción y diseño de aplicaciones ubicuas. Básicamente, el cómputo basado en la actividad (ABC, por sus siglas en inglés *Activity-based computing*) es una solución para el cómputo ubicuo que se enfoca en proveer soporte computacional a las actividades humanas móviles, colaborativas y distribuidas (Bardram, 2006). Como (Bardram, 2006) establece: “*sería imposible interactuar con un ambiente ubicuo, si uno tiene que considerar re-organizar aplicaciones y servicios, cada vez que uno cambie el uso de artefactos o la ejecución de una actividad*”. La Figura 5 ilustra de manera conceptual la estructura de una actividad computacional. Como se muestra, una actividad computacional mantiene la estructura de actividad/acciones/operaciones propuesta por la teoría de actividad pero en el nivel de acciones y operaciones. Estos elementos se han reemplazado por recursos computacionales incluyendo aplicaciones y documentos –recursos, que corresponden a las unidades centrales de los sistemas de cómputo actuales. Por ejemplo, la actividad “120966-0089 Inger Pedersen [leucemia]” involucra la consulta del expediente médico (acción) que a su vez involucra el recuperar el documento de su repositorio (operación).

Explorando ABC como un nuevo paradigma de interacción para cómputo ubicuo, (Li y Landay, 2008) encontraron que estas actividades no son solo series de tareas lineales, si no un conjunto de acciones, dirigidas por metas, que se desarrollan en un marco más grande donde se ejecuta la actividad humana. Por ejemplo, podríamos empezar un programa de ejercicio pero debemos ajustar si es que nos lastimamos, salimos de viaje, envejecemos u otros eventos surgen. Nuestros motivos cambian mientras respondemos al cambio y

entonces las metas y las acciones también cambian. Como explican (Li y Landay, 2008) en el mundo físico una actividad humana, con el motivo de mantenerse en línea, dura generalmente un periodo de tiempo largo involucrando muchas fases discontinuas (como correr cada mañana) y muchas situaciones diferentes (como trotar en un parque o ejercitarse en un gimnasio). Una *actividad* entonces evoluciona cada vez que se ejecuta en una *situación* particular. Una situación involucra un conjunto de *tareas o acciones* ejecutadas bajo ciertas *condiciones* (e.g., diferentes lugares, horas del día o temperaturas). Por ejemplo, para mantenerse en línea (motivo), se ejercita (actividad) en un gimnasio (situación) que puede incluir el realizar lagartijas (acción) o levantar pesas (acción). Esta situación que le da significado a la manera en como se ejecutan las acciones corresponde a la personificación de la *acción situada* (Suchman, 1987).

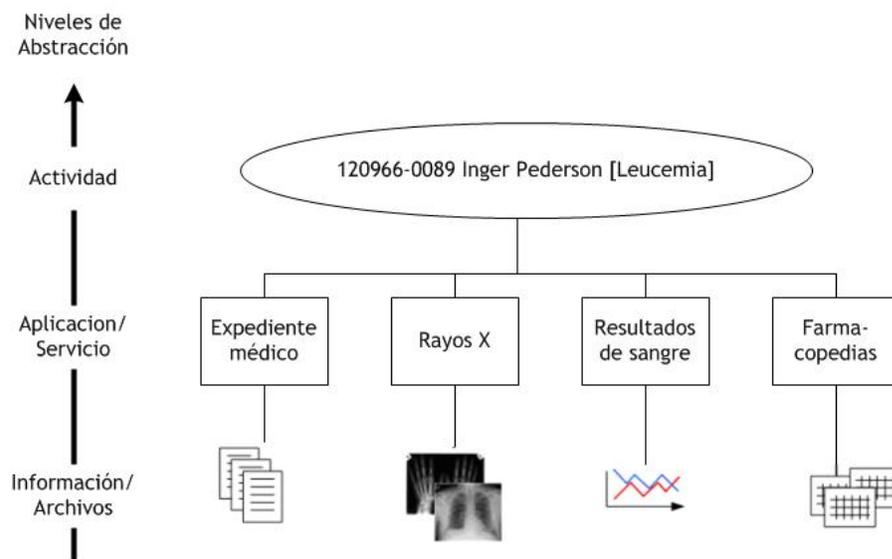


Figura 5. La actividad etiquetada como “120966-0089 Inger Pedersen [leucemia]” agrupa un conjunto de información y servicios relevantes a dicha tarea

Entonces el contexto en que una actividad se ejecuta importa. De modo que para crear aplicaciones conscientes de la actividad además de re-estructurar la jerarquía de los recursos computacionales, se debe, considerar el contexto de la situación. Aunque, la meta de una acción o el motivo de una actividad puedan representarse en la mente humana independientemente de la situación en que éstas se ejecuten o sucedan, el proceso práctico

de realizar una acción no se puede desasociar de las condiciones del ambiente físico. Esto pasa en el mundo, y ese mundo le provee forma, sustancia y significado a la acción.

El problema en cómputo basado en la actividad es que éste se encuentra desasociado del contexto en que éste se ejecuta, los usuarios explícitamente deben de estipular este contexto –incluyendo los cambios en el ambiente y los recursos asociados a una actividad. Esto evita que esta actividad sea internalizada por una aplicación obligando a un usuario a concentrarse en sus metas y objetivos en lugar de invertir tiempo en configurar el ambiente de cómputo.

II.2. ¿Cómputo consciente de la actividad?

Existe una brecha entre la investigación de cómputo ubicuo y la investigación de interacción humano-computadora. Por un lado, aplicaciones novedosas que integran los artefactos que utilizamos en nuestra vida diaria con dispositivos computacionales como sensores o PDAs, resaltan la necesidad de enfrentar los retos tecnológicos generados por la creación de dichas aplicaciones. Por otro lado, la investigación en interacción humano-computadora ha resaltado la necesidad de mejorar la interacción, dejando a un lado los retos tecnológicos. Esto crea un desequilibrio, entre diseñar tecnología novedosa, y diseñar tecnología utilizable, haciendo difícil el abordar ambos retos con suficiente profundidad. El problema es que el lenguaje hablado por la tecnología es diferente al hablado por los usuarios. Para enfrentar esto, tomando en cuenta las visiones de Teoría de Actividad (Leont'ev, 1981) y Acción Situada (Suchman, 1987), se introduce el concepto de *cómputo consciente de la actividad* el cual es una intersección entre el cómputo basado de la actividad, el cómputo consciente del contexto y reconocimiento de actividad (ver Figura 6). Como se ilustra en la figura, una vez que una aplicación tiene suficiente evidencia de la actividad ejecutada por el usuario, esta puede adaptar su comportamiento basada en la actividad para presentar información relevante o adaptar la interfaz, así como, crear de manera automática una representación de la actividad. Entonces el cómputo consciente de la actividad permite enriquecer ambientes ubicuos de dos maneras:

- Ayuda a los usuarios a asociar recursos y servicios con actividades de manera automática, permitiendo así una interacción natural con dichos recursos y servicios y;
- permite a ambientes pervasivos inferir actividades y mostrarlas a los usuarios de una manera entendible en la forma de una actividad



Figura 6. Cómputo consciente de la actividad

Así, mezclando el cómputo basado en la actividad con el cómputo consciente del contexto, permitirá a los diseñadores manejar la naturaleza dinámica del contexto mientras se monitorean las interacciones de los usuarios con personas y artefactos, con el fin de inferir, la actividad de un usuario sin requerir su esfuerzo adicional para definir y manipular sus actividades.

La Figura 7 muestra un ejemplo de una aplicación consciente de la actividad –el monitor CareNet. El monitor CareNet es un portarretrato digital que adhiere información a la fotografía de un anciano acerca de las actividades que se encuentra ejecutando (Consolvo *et. al.*, 2004) –el CareNet puede consultarse también en un dispositivo móvil. La información que el portarretrato muestra incluye la actividad realizada por el adulto mayor (si se tomó la medicina o no), información contextual relacionada con la actividad ejecutada (como la hora a la que el adulto mayor tomó la medicina) y los mensajes asociados a la actividad –toda esta información se ve a través de una actividad.

Es entonces como este paradigma propone una nueva manera de diseñar aplicaciones conscientes del contexto y aplicaciones conscientes de la actividad. Hacia aplicaciones que toman en cuenta la estructura de una actividad propuesta por *Teoría de Actividad* y utilizada por cómputo basado en la actividad y la visión de contexto de Acción situada, para unir el contexto físico, computacional y de los usuarios informando al ambiente UbiComp como adaptar su comportamiento. La idea es tomar en cuenta cómo los usuarios interactúan con la tecnología de acuerdo a lo que está pasando, apoyando a los diseñadores a adaptar aplicaciones conscientes del contexto para actividades específicas. Entonces, utilizando la actividad como el disparador central, la relevancia de cualquier información contextual se puede descubrir fácilmente informando al proceso de adaptación y representación, que información contextual debe estar asociada a la actividad actual.



Figura 7. El CareNet display

II.3. Trabajo relacionado y retos en cómputo consciente de la actividad

Hacer realidad la visión del cómputo consciente de la actividad implica abordar varios retos. En esta sección se discuten los retos en el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad resaltando el trabajo previo para cada uno de ellos.

II.3.1. Modelos y caracterizaciones de las actividades

Las actividades humanas son complejas y dinámicas, por lo que es difícil *estudiarlas* e identificar los problemas que en la práctica la tecnología de cómputo consciente de la actividad puede resolver (e.g., informar a una enfermera el estado de un paciente de manera sutil para evitar interferir en el foco de su actividad). Entonces, un problema particular de las aplicaciones conscientes de la actividad es encontrar aquéllos problemas que puedan apoyarse por sistemas conscientes de la actividad –sistemas empotrados en nuestro ambiente y dictados por la actividad ejecutada por el usuario. Esta transformación de la computación hacia fuera del escritorio tomando como base la actividad de un usuario para adaptar la tecnología acarrea los siguientes retos:

- El desarrollo de nuevos modelos de interacción que incorporen la relación del cómputo consciente de la actividad con el mundo físico y;
- El desarrollo de métodos que se enfoquen en la obtención de un entendimiento más profundo de los comportamientos (actividades) exhibidos en diferentes ambientes

En esta dirección, varios esfuerzos se han realizado para entender las actividades humanas y encontrar las necesidades y barreras que enfrentan los seres humanos en su vida diaria – problemas y necesidades que se puedan mitigar con la introducción de aplicaciones conscientes de la actividad. Uno de los proyectos más importantes en este grupo, es el cómputo basado en la actividad (ABC, por sus siglas en inglés –Activity Based Computing) quién permite a los usuarios explícitamente organizar sus recursos en términos de actividades. ABC permite a las aplicaciones mover esta noción de actividad al ambiente pervasivo soportando el uso móvil, colaborativo y disruptivo de dispositivos heterogéneos. En cómputo basado en actividad, cuando un usuario selecciona una actividad, el sistema automáticamente activa los servicios del sistema y recupera la información relevante a la tarea actual de un usuario. De manera similar a ABC, Aura (Garlan *et. al.*, 2002), también explora el concepto de actividad (denotado como tareas), así como, el concepto de suspender-reanudar tareas. Sin embargo, Aura no reporta resultados de descubrimiento de actividad o colaboración –aspecto que es vital en hospitales y en otros dominios. Además, ABC ha evaluado sus principios en ambientes reales, mientras Aura se ha enfocado

únicamente en evaluaciones técnicas. El proyecto de IBM *Administración de la Actividad Unificada* (Moran *et. al.*, 2005) (UAM, por sus siglas en inglés –Unified Activity Management) ha propuesto una actividad como una unidad de cómputo explícita soportada por una infraestructura. El concepto de actividad personifica el propósito e intento humano, que trabaja como un adhesivo semántico entre las tareas del usuario y los objetos computacionales como el correo electrónico, calendarios, mensajeros instantáneos, recursos de Internet, etcétera. Otro proyecto similar, es Explorador de Actividad que siguiendo colaboración centrada en la actividad permite a los usuarios definir unidades lógicas de trabajo que incorporan las herramientas, personas y recursos que una persona necesita para realizar un tarea (Geyer *et. al.*, 2003; Geyer, 2006).

A excepción de ABC (Bardram y Christensen, 2007), estos trabajos se han enfocado en producir guías de diseño para diferentes tipos de interfaces (por ejemplo, pantallas gráficas o sitios de Internet). A pesar que estas guías se han utilizado exhaustivamente, la mayoría de estas guías tienen a enfocarse en las necesidades y demandas de las interfaces para escritorio. Durante los últimos años, las comunidades en UbiComp se han preguntado si estas soluciones son apropiadas para el diseño de interfaces donde la interacción se extiende más allá de la pantalla tradicional, teclado y ratón acomodados en un escritorio.

Entonces, debemos de entender cómo estas teorías cambian en un ambiente donde la tecnología UbiComp está implantada o podría implantarse. A pesar que estos estudios han resaltado los problemas que enfrentan los seres humanos en sus prácticas diarias, existe muy poca evidencia empírica que caracterice estos comportamientos en un ambiente cuyas características son adecuadas para la introducción de UbiComp (e.g., hospitales). Es decir, caracterizar las interacciones de individuos con personas y artefactos heterogéneos distribuidos en espacio y tiempo, el tiempo que ellos se mueven (hacia dónde y para qué), cuál es el nivel de fragmentación en la ejecución de sus actividades, y cuánto tiempo invierten en sus diferentes actividades. Un entendimiento de este tipo es importante para informar de manera adecuada el diseño de tecnología UbiComp. Esto acarrea la necesidad de proponer nuevas metodologías y herramientas que faciliten el estudio de ambientes con estas características. Aquéllas que permitan a un investigador desde capturar observaciones

detalladas de aspectos generales del trabajo humano hasta analizar de manera cualitativa y cuantitativamente sus comportamientos.

II.3.2. Aplicaciones e infraestructuras centradas en la actividad

Así como hemos considerado modelos y teorías para entender las actividades humanas, es necesario ahora conceptualizar aplicaciones que permitan apoyar a los usuarios en enfrentar los problemas en su vida diaria. El diseño e implementación de estos sistemas incluye los siguientes retos:

- El desarrollo de sistemas que permitan crear modelos y representaciones de actividades computacionales para automatizar el flujo de trabajo alrededor de ‘recursos’ humanos.
- El desarrollo de infraestructuras que faciliten la implementación de sistemas centrados en la actividad
- El desarrollo de sistemas centrados en la actividad que utilicen información contextual para adaptar su comportamiento o presentar información relevante

En esta dirección, muchos investigadores han propuesto soluciones que permiten crear modelos de actividad, los cuales se utilizan para automatizar el flujo de trabajo alrededor de ‘recursos’ humanos. De manera formal, un sistema de flujo de trabajo, es un sistema que define, administra y ejecuta procesos de flujo de trabajo a través de la ejecución de aplicaciones comandadas por la representación computacional del proceso lógico de un flujo de trabajo (Schäl, 1996). Donde estos procesos de flujo de trabajo se conectan como un conjunto estructurado de actividades recurrentes cuyos movimientos de trabajo básicos (llamados actividades) las deben ejecutar varias personas (llamados actores) en una cierta secuencia. Por ejemplo, suponga el flujo de trabajo para obtener un resultado de laboratorio. Juan, un médico interno, desea analizar la sangre del paciente en la cama 222 ordenando un estudio de laboratorio. Para ello, Juan utiliza el sistema de flujo de trabajo para ordenar la muestra. Una vez ordenada la muestra, el sistema bloquea la actividad de orden de Juan hasta que el resultado del estudio sea entregado. Rita, una laboratorista, recibe la orden de Juan y procede a tomar las muestras. Una vez que las muestras se

procesan, Rita introduce los resultados en el sistema. Ahora, el sistema desbloquea la actividad suspendida de Juan permitiendo consultar los resultados. Sin embargo, en un sistema de flujo de trabajo la actividad computacional precede y dicta a la actividad humana, por lo cual, no se pueden establecer cursos alternativos de acción (Bardram, 1997).

Para enfrentar esta problemática nuevas propuestas se han diseñado donde la actividad humana precede a la actividad computacional. Por ejemplo, Rooms divide la estación de trabajo de un usuario en “cuartos virtuales” donde cada cuarto contiene documentos, contactos y pendientes (Henderson y Card, 1986). Kimura sugiere combinar el contexto físico y virtual para regir la creación de actividades referidas como “montajes” (Volda *et. al.*, 2002). El Activity Explorer, siguiendo un paradigma centrado en colaboración, permite a los usuarios definir unidades lógicas de trabajo para incorporar las herramientas, personas y recursos necesarios para la tarea realizada (Geyer, 2006). El mSJ permite crear esferas de trabajo en su representación computacional: e-sphere (Morteo *et. al.*, 2004; Camacho *et. al.*, 2006). Una esfera de trabajo (González y Mark., 2004) es ‘*un conjunto de tareas interrelacionadas, que comparten un objetivo común, y que envuelven la interacción con una constelación particular de personas y el uso de recursos contenidos en un marco de tiempo*’. Sin embargo, las personas normalmente tienen problemas en etiquetar y delimitar nuevas tareas (Bardram y Christensen, 2007). Una limitación de estos sistemas es que el usuario debe identificar los recursos asociados a cada actividad de manera implícita, creándola y seleccionando aquella relevante a la tarea actual.

Para enfrentar esta problemática, pocos esfuerzos se enfocan en utilizar información contextual para permitir descubrir la actividad computacional de manera automática. Por ejemplo, el Jardín UbiFit, utilizando sensores que detectan y monitorean las actividades físicas de las personas, despliega sus nivel de ejercicio a través de un jardín de flores (Consolvo *et. al.*, 2007) –ver Figura 8 . Similarmente, el sistema XPod, informa el nivel de actividad de un usuario a través de música (Dornbush *et. al.*, 2007). Este sistema monitorea, el movimiento y estado físico de un usuario para predecir la música apropiada dependiendo el nivel de actividad. Por ejemplo, si estoy corriendo el XPod tocaría una música con un ritmo acelerado a diferencia de si estuviera caminando.



Figura 8. El Jardín UbiFit (a) pequeñas mariposas indican una meta reciente –la ausencia de flores indica que el usuario no realizó actividad (b) una vista del jardín cuando el usuario realizó actividades (c) un usuario consulta su jardín UbiFit en su celular

En resumen, estos esfuerzos han explorado reorganizar la interacción entre el humano y la computadora en términos de actividades de manera automática utilizando información contextual o explícitamente pidiendo a un usuario que la defina. Sin embargo, no está claro qué fuente de entrada es la más adecuada para interactuar con este tipo de tecnología. En otras palabras como definimos el plan de un humano: (1) de manera automática con inferencia a través del sensado de información contextual (ver siguiente subsección) y (2) a través de la interacción explícita con el usuario. En relación a la interacción explícita, no está claro cómo se pueden apoyar a un usuario para que defina actividades específicas si raramente los humanos reconocen una actividad antes de ejecutarla. Y si pudieran reconocerla, la simple tarea de nombrar una actividad cuando ésta se crea generaría una interrupción adicional que podría no ser siempre bienvenida por los usuarios –más en contextos de trabajo donde se tienen muchas interrupciones como en hospitales. Además, no está claro cómo un usuario podría después reconocer una actividad para recuperarla cuando ésta sea relevante. De manera general, no está claro cómo un usuario puede administrar un conjunto mayor de actividades, para organizarlas, activarlas, buscarlas o

desactivarlas –como hacemos con los archivos tradicionales de computadora. Entonces, se debe buscar una manera que permita al usuario administrar una actividad sin que esta administración por si misma se vuelva otra tarea que el usuario tenga que realizar.

II.3.3. Estimación de actividades

Para permitir la creación y recuperación de actividades de manera automática cuando éstas sean relevantes, es necesario inferirlas e informar a la aplicación cómo puede usar esta inferencia. En este sentido el reconocimiento de actividades incluye los siguientes retos:

- Determinar la tecnología o algoritmos necesarios para realizar la inferencia de actividad con una precisión aceptable
- Determinar el tipo de actividades a ser estimadas en términos de la aplicación

Muchos esfuerzos se han realizado para inferir las actividades de las personas utilizando diferentes técnicas. Por ejemplo, (Canny, 2004) diseño algoritmos para factorizar actividades a partir de la bitácora de uso de una computadora. (Lee y Mase, 2002) reportan un método para reconocer y clasificar si un usuario está sentado, de pie o caminando. Para ello, el usuario usa un sensor que obtiene la aceleración y la velocidad angular. Algunas actividades también se han inferido detectando la interacción de usuarios con objetos particulares (Philipose *et. al.*, 2004). Para ello el usuario usa un guante que tiene empotrado un lector RFID que captura señales de artefactos de interés etiquetados con RFID (ver Figura 9). Finalmente, el sistema SEER utiliza un modelo oculto de Markov (HMM) para estimar actividades con un nivel de abstracción mayor (e.g., si un usuario asiste a una conferencia) (Oliver *et. al.*, 2004). Esta arquitectura utiliza como entradas información contextual de audio, y video, la cual se obtiene de sensores distribuidos en el ambiente de oficina.

En resumen, las soluciones propuestas para estimar la actividad de un usuario incluyen desde aquéllas que utilizan simples reglas para derivar la actividad de un usuario en función a información contextual (e.g., si tengo un cepillo de dientes, me voy a lavar los dientes) hasta aquéllas que funden el contexto de múltiples fuentes a procesarse por un algoritmo de reconocimiento de patrones. Sin embargo, el nivel de abstracción de las

actividades estimadas es bajo⁴ (e.g., estoy sentado, caminando, parado), lo cual hace casi imposible construir aplicaciones conscientes de la actividad basadas en esta información.



Figura 9 El guante detector de RFID

Entonces, no está claro el nivel de abstracción que se requiere de una actividad para construir aplicaciones exitosas, ni cómo se pueden estimar actividades con un nivel de abstracción mayor (e.g., estoy valorando el caso clínico de un paciente, estoy documentando su historia clínica). El problema aquí es que muchos investigadores se han enfocado en buscar soluciones que son técnicamente desafiantes pero prácticamente inaplicables. Además, no está claro cómo se pueden capturar la información que requerimos para entrenar y probar estos algoritmos de patrones. Como lo realiza (Canny, 2004) a través del monitoreo de la interacción de un usuario con la computadora o como propone (Intille *et. al.*, 2000) pidiéndole al usuario retroalimentación implícita. Entonces, no está claro el tipo de métodos que se deben utilizar para obtener la información de entrenamiento y prueba, ni cuánto el usuario final debe estar involucrado en la captura de esta información o durante el proceso de inferencia –cómo se pueden meter al humano en la ecuación de la máquina de inferencia de actividad. El algoritmo de reconocimiento debe minimizar el esfuerzo humano durante la etapa de entrenamiento y etiquetado, y deberá ser flexible permitiendo la expansión de los algoritmos para reconocer otras actividades y la

⁴ El nivel de abstracción en función a la jerarquía de actividades en la Teoría de actividad. Siendo las operaciones un nivel de abstracción menor y acciones y operaciones un nivel mayor.

personalización para cierto tipo de usuarios. Finalmente, esta inferencia acarrea un error en la estimación el cual debe ser manejado por el programador e informado al usuario. En este sentido, no está claro el tipo de mecanismos de incertidumbre que la máquina de inferencia debe incluir para proveer retroalimentación al usuario (e.g., mostrar la precisión con la que una actividad se estimó) o permitir al usuario controlar este mecanismos de inferencia (e.g., desactivar la estimación de actividad) –e inclusive no es claro si estos mecanismos los debe implementar el método de estimación o la interfaz de una aplicación.

II.3.4. Implantación de aplicaciones conscientes de la actividad

El cómputo consciente de la actividad utiliza tecnologías sofisticadas para inferir la actividad del usuario. Estas tecnologías requieren mucha experiencia para ser construidas o implantadas. Para ello se han propuesto muchas soluciones que permiten sensar el contexto primario necesario para realizar la inferencia de actividad. Estas soluciones incluyen desde simples sensores como etiquetas RFID (Munguia *et. al.*, 2004; Philipose *et. al.*, 2004) o la fuerza de la señal de una PDA a un punto de acceso (Castro and Favela, 2008) hasta sistemas complejos que funden la información de diferentes fuentes (Hightower y Borriello, 2001; Krumm y Hinckley, 2004; Krumm y Horvitz, 2004; Castro y Favela, 2008).

La mayoría de los métodos de estimación requieren la implantación de sensores para detectar el contexto primario como la localización del usuario, personas involucradas en la actividad y artefactos utilizados –de todas estas variables la que más se utiliza para inferir la actividad son los artefactos utilizados. Por ejemplo, muchas soluciones se han propuesto para inferir la proximidad de los usuarios basados en la captura de localización, proximidad y descubrimiento de servicios (Hightower y Borriello, 2001; Krumm y Hinckley, 2004; Krumm y Horvitz, 2004), saber que una persona está cerca de otra no es suficiente evidencia para inferir una interacción. Las redes P2P son ideales para transmitir y compartir información y datos entre dispositivos físicamente co-localizados (Favela *et. al.*, 2006). Una vez que una aplicación tiene evidencia suficiente de que los usuarios están ejecutando acciones que involucran colaboración (como compartir la pantalla de la PDA),

esta colaboración puede inferirse. También, se han diseñado sensores como dispositivos de “captura y olvida” que se pueden rápida y pervasivamente instalado en ambientes reales. Para estas soluciones, algunos sensores con acelerómetros, relojes y memoria local se han adherido a objetos comunes que se utilizan en la vida diaria (Munguia *et. al.*, 2004). Como alternativa, estos sensores se pueden combinar utilizando acelerómetros para detectar las interacciones de personas con objetos y con un protocolo de radio frecuencia, para transmitir esta información de manera inalámbrica.

Finalmente, sólo un dispositivo ha sido desarrollado para específicamente reconocer la actividad de un usuario. El Mobile Sensing Platform (MSB) es un dispositivo que tiene empotrado un conjunto sensores que estiman la localización, el uso de artefactos etiquetados con RFID y un algoritmo de reconocimiento de actividad para reconocer si un usuario está caminando, sentado, parado, subiendo o bajando escalares o lavándose los dientes (Choudhury *et. al.*, 2008) –ver Figura 10.

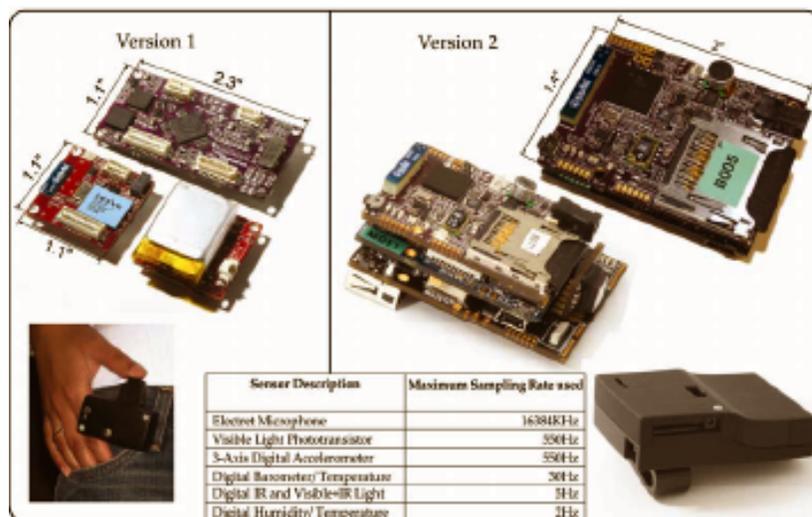


Figura 10. El Mobile Sensing Platform –hardware descubierto y empotrado en el plástico

A pesar del avance en estos dispositivos existen una serie de problemas que deben ser afrontados antes de la implantación de los mismos en ambientes reales. Estos retos incluyen desde el costo de los dispositivos, el tamaño de los mismos (más aún cuando serán usados por usuarios), el tiempo de vida de la batería y la cantidad de almacenamiento de datos. Además, de las características de los dispositivos a implantarse se deben de considerar problemas técnicos que podrían surgir una vez que esta tecnología este

implantada en un ambiente real. Así, como el entrenamiento o capacitación que los usuarios requieran para utilizar este tipo de tecnología.

II.3.5. Métodos y métricas para evaluar aplicaciones conscientes de la actividad

Otro de los problemas del cómputo consciente de la actividad está relacionado con la evaluación de este tipo de aplicaciones –este problema se extiende al problema ya existente en UbiComp. El principal problema en evaluación de UbiComp es que no existen métodos diseñados para evaluar aplicaciones UbiComp, sino métodos adaptados de aquéllos aplicados en aplicaciones para escritorio. Esto acarrea los siguientes retos (como fueron resaltados por (Carter y Mankof, 2004)):

- Necesidad de un conjunto de métricas que sean aplicables a ciertas condiciones donde el sistema será evaluado
- Necesidad de contar con métodos y herramientas de evaluación que sean escalables, que lidien con la ambigüedad acarreada por un sensor y que no sean intrusivos
- No está claro cuál método es el más adecuado para evaluar una aplicación UbiComp, implantar una evaluación para ser evaluada por un periodo largo de tiempo *in situ* o una prueba de concepto en laboratorio o *en sitio*

Las aplicaciones UbiComp podrían no tener las mismas metas que otras tecnologías por lo que requieren otro tipo métricas para medir el éxito de estas aplicaciones. (Scholtz y Consolvo, 2004) identificaron diferentes métricas importantes para la evaluación de UbiComp, pero además resaltaron que sus métricas pueden variar de acuerdo a las características del sistema a ser evaluado –la aplicabilidad de cada métrica variará dependiendo del estudio. Por ejemplo, una métrica a priori para evaluar el valor de la adopción de un sistema de rastreo nutricional para alguien que está a dieta sería más útil que evaluar el nivel de adaptación de dicho sistema –a diferencia de otro sistema consciente del contexto que podría requerir dicha métrica. Debido al gran número de métricas no está claro identificar bajo qué condiciones cada métrica es apropiada.

Por otro lado, los sistemas UbiComp deben considerar problemas de escalabilidad ya que involucran el uso pervasivo de tecnología heterogénea, funcionando en múltiples dispositivos, en diferentes lugares y con un gran número de usuarios –problema que no se presenta en los sistemas para escritorio. Entonces, no está claro cómo evaluar sistemas con miles de usuarios antes o después de que éstos se implanten.

Finalmente, los sistemas UbiComp (y más específico de las aplicaciones conscientes de la actividad) son típicamente sistemas basados en el sensado de información. En este sentido, se necesita realizar trabajo para identificar los mejores mecanismos para lidiar con los problemas de sensado como ambigüedad y errores. Y no está claro cómo este tipo de problemas, pudieran afectar en el resultado final de la evaluación. Sin embargo, es necesario desarrollar herramientas y métodos que permitan lidiar con este tipo de problemas durante la evaluación, como el método del Mago de Oz. El experimento del *Mago de Oz* es un experimento de investigación que permite a los usuarios interactuar con un sistema computacional que los sujetos creen que reacciona autónomamente, pero que en realidad está operado o parcialmente operado por un humano oculto (el mago).

II.4. Resumen y discusión

En este capítulo se definió el concepto de ‘cómputo consciente de la actividad’ como una intersección entre el cómputo basado en la actividad, el cómputo consciente del contexto y reconocimiento de actividad. Además, se describen las bases cognitivas y teorías psicológicas que forman la base del concepto. Posteriormente, se describen los retos del cómputo consciente de la actividad que van desde la realización de casos de estudio para entender y caracterizar las actividades humanas hasta la implantación y evaluación de aplicaciones conscientes de la actividad. En los siguientes capítulos se describe como algunos de los retos que identificamos fueron abordados para demostrar la factibilidad y aplicabilidad de aplicaciones conscientes de la actividad. Primero, empezaremos con la caracterización de las actividades humanas, mediante la ejecución de un caso de estudio en un hospital.

Capítulo III

Características de las actividades ejecutadas por el personal médico: El caso de estudio en un hospital

En este capítulo se discute un caso de estudio realizado en un hospital con el fin de estudiar las prácticas del personal médico. Primero, se presenta la metodología que se siguió durante el estudio. Posteriormente, se presentan las actividades ejecutadas por el personal médico, su caracterización y su relevancia estadística. Enseguida se discute la naturaleza de las actividades ejecutadas por el personal médico resaltando las características de las actividades humanas. Finalmente, se discuten oportunidades para el diseño e implementación de aplicaciones conscientes de la actividad en soporte al monitoreo y seguimiento de actividades.

III.1. Metodología del estudio

Se realizó un caso de estudio en un hospital público, con el fin de entender las actividades ejecutadas por el personal médico y utilizar esta información para caracterizar su trabajo – cuantificar su movilidad, interactividad, fragmentación de actividades y el tiempo que invierten en la ejecución de sus tareas (González *et. al.*, 2005; Moran *et. al.*, 2006). La Figura 11 muestra la metodología que se siguió durante el estudio descrito a continuación:

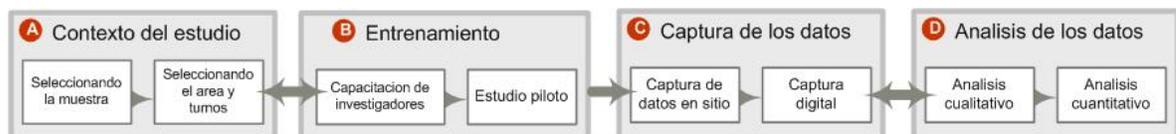


Figura 11 Metodología del estudio

III.1.1. Contexto del estudio: Seleccionando su propósito y características

Antes de empezar con la recolección de los datos, se selecciona la muestra y se define el área a estudiarse. El caso de estudio se realizó en el Hospital General de la Zona IV (H.G.Z

IV No.8) en Ensenada, Baja California. Este hospital es una unidad de atención médica que tiene una población adscrita de 175,000 personas, realizando por año 302,000 consultas de medicina familiar, 92,000 urgencias, 3,000 partos y 600,000 estudios de laboratorio. El hospital cuenta con seis áreas estratégicas: urgencias, cirugía, consulta externa, hospitalización (medicina interna), farmacia y servicios auxiliares (radiodiagnóstico y laboratorio clínico). Este hospital es la cabecera del municipio de Ensenada en cuanto a servicios médicos por parte del IMSS cubriendo el 82% de la seguridad social de una población de 389,272 habitantes. Como cualquier otro hospital de su tamaño, el IMSS en Ensenada es un ambiente de trabajo donde la información está distribuida, los trabajadores son móviles y diferentes artefactos soportan la coordinación del personal médico.

De las áreas estratégicas del IMSS, se eligió el área de Medicina Interna para el estudio ya que se considera el corazón del hospital donde se atienden más del 70% de los pacientes. Estos pacientes son generalmente adultos mayores, seniles y solos. En su mayoría tienen una enfermedad crónica o terminal, como diabetes, insuficiencia renal, lesiones cerebrales o problemas cardíacos. Por lo tanto, estos pacientes están normalmente inmóviles y son incapaces de ejecutar por sí solos las actividades de la vida diaria (como comer o vestirse). En el área de medicina interna cinco enfermeras, dos médicos de base, dos o tres especialistas y cinco médicos internos en rotación atienden hasta veinticinco pacientes. Cada rol trabaja un turno de ocho horas en la mañana, en la tarde o en la noche – excepto por médicos internos que cada tres días trabajan además un turno de 24 horas. La Figura 12 muestra fotos del personal médico durante un día de trabajo.

Al personal de enfermería los supervisan por dos o tres jefas de enfermeras y una jefa de piso. Dependiendo del número de pacientes registrados en el área cada enfermera es responsable de cuatro a cinco pacientes –por área por turno. Las enfermeras en esta área son responsables de proporcionar cuidado integral y especializado a los pacientes.

Del personal médico, los médicos de base y especialistas son responsables de valorar casos clínicos y entrenar a médicos internos. A pesar que los médicos de base y los especialistas ejecutan actividades similares, existen algunas diferencias en la naturaleza de su trabajo. Por ejemplo, mientras los médicos de base están a cargo de todos los pacientes registrados en un área, los especialistas están a cargo únicamente de aquellos pacientes

cuya enfermedad esté relacionada con su área de especialidad. Entonces, los pacientes atendidos por los médicos de base están concentrados en una sola área mientras que los pacientes de los especialistas están distribuidos por todo el hospital. Por otro lado, los médicos internos se consideran médicos en entrenamiento y son los que proveen más horas de atención al paciente. Cada médico interno es responsable de aproximadamente cinco o seis pacientes por área por turno. Una de sus responsabilidades principales es crear historias clínicas –actividad realizada cada vez que un nuevo paciente se registra en el hospital. Otras actividades que los médicos internos realizan tienen un rol colaborativo, como realizar la ronda con médicos de base y especialistas o asistir a reuniones donde se discuten casos clínicos.



Figura 12. Personal médico trabajando durante un día de observación (a) Una enfermera preparando medicinas (b) Una enfermera documentando información médica y (c) Médicos internos discutiendo un caso clínico con el médico de base

III.1.2. Entrenamiento: Usando técnicas de observación *in situ*

Un grupo de seis investigadores capturó la información en el hospital. Este grupo se creó con el fin de reducir el tiempo en la recolección de los datos, así como evitar la introducción de prejuicios personales en la información capturada. Con base a esto, nuestro estudio empezó con un periodo de entrenamiento donde se explicó al grupo de observadores el contexto y propósito del mismo, así como la técnica de observación a ser utilizada durante el estudio. También, se explicaron los nombres técnicos y el aspecto físico de los artefactos utilizados, así como las características de los lugares visitados por el

personal médico –esta información se generó a través de observaciones y entrevistas que se capturaron a través de un estudio piloto previamente realizado en el hospital. Este estudio piloto se realizó también para permitir a los investigadores poner en práctica la técnica de observación y así identificar los posibles retos a ser enfrentados durante la recolección de los datos. Esto permitió a los investigadores entender el nivel de detalle y las características de la información que se esperaba capturar durante el estudio oficial. Durante este estudio piloto, algunos observadores siguieron a un técnico del CICESE por un periodo de 4 horas (aprox.) –este técnico fue seleccionado debido a que su trabajo tiene características similares a la del personal médico (e.g., tiene mucha movilidad, utiliza muchos artefactos para coordinar su trabajo y realiza varias tareas de manera simultánea). Otros observadores siguieron por un periodo de tres semanas a seis trabajadores médicos incluyendo dos jefas de enfermeras, dos médicos de base y dos médicos internos. El tiempo total de observación detallada del estudio piloto en el hospital fue de 74 horas y 6 minutos, con un tiempo promedio de observación por sujeto de 12 horas y 21 minutos. Después del estudio piloto, se pidió a los observadores que transcribieran la información capturada en un reporte de observación estándar. Las notas de campo de los observadores y sus reportes de información transcritos se evaluaron y discutieron durante una sesión de grupo –a esta sesión acudió el grupo de investigadores a cargo del estudio y algunos miembros del personal médico.

III.1.3. Recolección de información: Un estudio de observación *en sitio*

El estudio piloto estuvo limitado por la poca cantidad de informantes observados y las áreas de hospital estudiadas. Además, los trabajadores hospitalarios fueron observados en diferentes turnos –incluyendo dos turnos matutinos, uno vespertino y uno nocturno. Al haber observado turnos diferentes encontramos que la dinámica del trabajo durante el turno vespertino y nocturno presentaba algunas diferencias respecto al turno matutino, que en general suele ser más intenso. Esta variabilidad en la información recolectada podría complicar en cierta medida la generalidad de los resultados. Es por ello que se decidió realizar un caso de estudio con un número de informantes mayor y enfocado a la

adquisición de datos estándar con el propósito de derivar resultados estadísticamente significativos. Este estudio se condujo por un periodo de cinco semanas donde quince trabajadores hospitalarios, incluyendo cinco enfermeras, cinco médicos de internos y cinco médicos de base, fueron observados por dos turnos completos (ver Tabla I). Para discutir más allá acerca de las prácticas del personal médico observado, se realizaron entrevistas largas de aproximadamente una hora con cada informante. El tiempo total de observación fue de 196 horas y 46 minutos, con un promedio de tiempo de observación por informante de 13 horas y 7 minutos.

Tabla I. Tiempo promedio de observación de sujetos

Sujetos	Horas observadas por turno		Tiempo total de observación (Desv. St.)
	Promedio	Desv. St.	
Enfermeras	07:10:35	00:16:32	14:21:10 (0:25:19)
Médicos internos	06:38:40	00:27:20	13:17:20 (0:44:51)
Médicos de base	05:51:27	00:38:43	11:42:54 (1:26:20)

El estudio de observación demanda a un investigador seguir a un informante como su sombra (ver Figura 13a) capturando el tiempo de cada acción como iba ocurriendo en una hoja de papel, anotando detalles respecto a la naturaleza de las acciones, los artefactos utilizados, la ubicación física de los informantes, las interacciones y el contenido de las conversaciones –todos los registros fueron capturados con la mayor precisión posible. Un investigador generaba un nuevo registro cada vez que el contexto de trabajo cambiaba. Por ejemplo, el observador generaba un nuevo registro si alguien llegaba a la escena cuando un médico de base discutía un caso clínico con un colega, o si este médico mientras consultaba el expediente tomaba los resultados de estudios. Debido a que todos los registros se capturaron a mano en el hospital (ver Figura 13b), éstos se transcribieron e integraron después a reportes de observación (ver Figura 13c). El objetivo de tener esta información en un formato digital era facilitar su análisis, la codificación de los datos y el cálculo de estadísticas. Como se ilustra en la Figura 13c, el reporte de observación es una hoja de cálculo con columnas para la hora, la descripción de las acciones, los participantes involucrados, los artefactos utilizados y la localización. Además de estas columnas, el

reporte de observación tiene otras columnas abiertas donde los investigadores pueden anotar códigos o ideas durante el análisis.

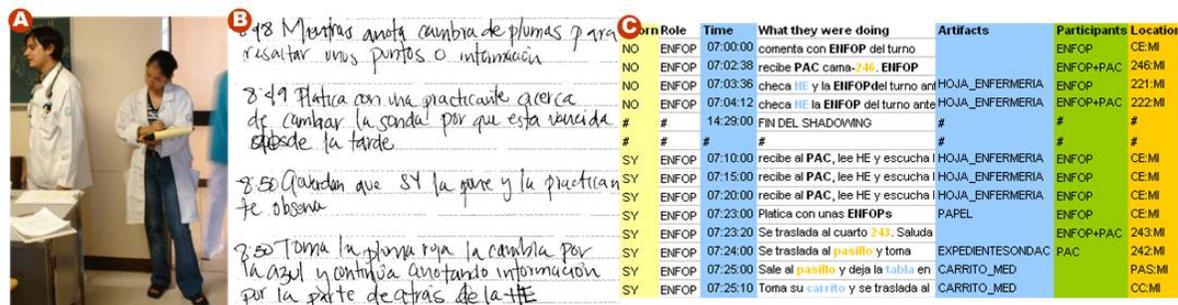


Figura 13 Estudio de observación (a) Un investigador siguiendo a un médico interno (b) Un reporte de la información capturada en el hospital (b) Un reporte de observación digital

III.1.4. Análisis cualitativo y cuantitativo de la información recolectada

La información transcrita en los reportes de observación fue Primero analizada de manera cualitativa siguiendo la técnica para derivar teoría fundamentada originalmente propuesta por (Strauss y Corbin, 1998). Esta técnica requiere que los datos sean tratados Primero con procedimientos de *codificación abierta* (i.e., open coding). Este tipo de codificación requiere que la información se analice tomando segmentos de conductas observadas para cada informante (e.g., una conversación en particular o un segmento de trabajo) y comparándolas con información del mismo individuo (e.g., en otro momento del día) o con información de otros informantes (e.g, personas del mismo rol o de diferente rol pero que experimentaron una situación similar). Mientras el investigador compara y diferencia cada fragmento de información de otros, éste le asigna un *código* que identifica un tipo de comportamiento tentativo que este fragmento de información resalta. Mientras el análisis y la codificación de la información avanza, eventualmente surgen patrones de comportamiento comunes. Esto lleva el análisis a un segundo nivel, llamado *codificación axial* (i.e., axial coding), donde emergen propiedades específicas de estos códigos identificados (e.g., dimensiones o grados de variación). Cada código generado en la fase de *codificación abierta* es después asociado con otros para consolidar un esquema de codificación que describa un fenómeno que surgió de los datos. Los métodos de teoría fundamentada han sido ampliamente utilizados en el estudio de uso de sistemas de

información, colaboración distribuida, informática médica, entre otros (Orlikowski, 1993; Strauss y Corbin, 1998; Reddy *et. al.*, 2001; González y Mark., 2004). Esto permite validar esta técnica como una herramienta metodológica de análisis.

El objetivo de nuestro análisis fue revelar los principales comportamientos médicos que nuestros informantes experimentan durante su trabajo diario. Es por ello, que pusimos especial atención en aspectos de código relacionados con las características y la información contextual que conforma una actividad humana. Los códigos identificados en la etapa de codificación abierta fueron también analizados utilizando teoría de actividad (Nardi, 1996). La teoría de actividad describe a la actividad humana como una jerarquía de actividades, acciones y operaciones (Leont'ev, 1981). En esta teoría se hace una diferencia en el nivel de consciencia que un usuario tiene al ejecutar una actividad, una acción y una operación. Mientras un usuario ejecuta la actividad y las acciones de manera consciente, las operaciones se ejecutan de manera inconsciente. Basados en esto, consideramos importante analizar las actividades a diferentes niveles de granularidad prestando especial atención al nivel de consciencia que el personal médico tiene al ejecutar estas actividades – como lo indica la teoría de actividad. Esto permite agregar una dimensión adicional a nuestro análisis donde específicamente se subdividen actividades en acciones y operaciones. Esto también permite identificar el propósito que tiene una persona al utilizar los artefactos, moverse de un lugar a otro, interrumpir la ejecución de una actividad e interactuar con otros (ésto nos puede dar información para detectar la información que una persona considera relevante durante la ejecución de una tarea). A través de una serie de iteraciones y un análisis colaborativo entre los observadores que participaron en el estudio, se derivó un esquema de codificación que describe las actividades que ejecuta el personal médico. Este esquema de codificación se discutió con algunos trabajadores hospitalarios con el fin de validarlo y refinarlo.

Además de este análisis cualitativo, se realizaron un análisis cuantitativo para estimar el tiempo que los trabajadores hospitalarios invierten en diferentes actividades; la distancia que se mueven, los lugares que visitan, así como las personas involucradas y los artefactos utilizados durante la ejecución de sus actividades. Se mide el tiempo que los trabajadores hospitalarios invierten en la ejecución de diferentes actividades, el número promedio de

segmentos y el tiempo promedio de segmentos por actividad para cada sujeto. Cada segmento corresponde a un periodo de tiempo ininterrumpido en el que el sujeto se encuentra enfocado en una misma actividad –sin ser interrumpido. Además, se realizaron pruebas ANOVA y Tukey post-hoc para establecer la significancia estadística de los datos.

Este tipo de análisis complementó nuestro entendimiento cualitativo de las prácticas médicas con una cuantificación del tiempo en que el personal médico invierte en dichos comportamientos. Adicionalmente, el análisis permitió medir la movilidad experimentada por el personal médico y la frecuencia de interacciones con personas o artefactos – información contextual que permite identificar las características de las actividades.

III.2. La naturaleza del trabajo hospitalario

En esta sección discutimos los resultados del estudio relacionados con la identificación de las actividades ejecutadas por el personal médico, el tiempo que ellos invierten en cada una de ellas y sus diferencias significativas.

III.2.1. Actividades ejecutadas por el personal médico

Siguiendo la manera en que los trabajadores hospitalarios conceptualizan su trabajo, definimos una *actividad humana* como un tipo de trabajo particular que se ejecuta a través de un conjunto de acciones relacionadas mediadas por su contexto de ejecución –artefactos utilizados y personas involucradas. Clasificamos estas actividades en tres grandes grupos respecto a como se relacionan a un aspecto esencial y fundamental del trabajo médico: el cuidado clínico de pacientes⁵.

Actividades centradas en el paciente

Las actividades centradas en el paciente se ejecutan para proporcionar calidad de atención a los pacientes incluyendo valoración y diagnóstico, cuidados al paciente y preparación de medicinas y material. Por ejemplo, *valoración y diagnóstico* se refiere a las acciones

⁵ Las actividades en itálicas corresponden a aquellas que forman nuestro esquema de codificación

ejecutadas por el personal médico para tomar una decisión clínica acerca de la evolución del paciente, consultando evidencia clínica (e.g., expediente médico), discutiendo con colegas el diagnóstico de un paciente y consultando material de referencia (e.g., equivalencias farmacológicas). Mientras esta actividad está enfocada en la toma de decisión, otras, como *cuidados al paciente*, se enfocan en las acciones ejecutadas para proporcionar cuidado integral a los pacientes. La actividad de *cuidados al paciente* involucra las acciones ejecutadas con el fin de examinar la condición del paciente, monitorear sus signos vitales, administrar medicamentos, aconsejar al paciente y realizar procedimientos especializados (e.g., extracciones de médulas). Adicionalmente, la actividad de *preparación de medicamentos y material* se realiza para recopilar el equipo médico necesario para proporcionar cuidados al paciente.

Actividades centradas en información

El personal médico ejecuta actividades centradas en información como estrategias para garantizar que la información y los artefactos estarán ubicados en el lugar correcto para cuando los necesiten. Por ejemplo, antes de que inicie la ronda, los médicos internos recopilan los expedientes médicos y los ponen frente a la cama de cada uno de los pacientes. Por lo tanto, el personal médico tiene que realizar *manejo de información* para recopilar y monitorear el estado o la disponibilidad de la información requerida para realizar su trabajo, como por ejemplo, los resultados de laboratorio requeridos para realizar el diagnóstico. Similarmente, el personal médico necesita *rastrear personas o artefactos* (incluyendo equipo médico y documentos) con el fin de tener la información relevante a las tareas que ejecutan. Esta actividad es de corta duración y se ejecuta recorriendo el hospital.

Actividades centradas en administración

Otro tipo de actividades se ejecutan para soportar aquellas relacionadas con el cuidado de pacientes son las de administración. Estas actividades incluyen coordinación, administración de evidencia clínica y clases y capacitación. La actividad de *coordinación* se refiere a las acciones ejecutadas por el personal médico para supervisar la calidad de atención proporcionada a pacientes. La actividad de *administración de evidencia clínica* se

refiere a las acciones ejecutadas por el personal médico para crear evidencia médica formalizando las notas tomadas en movimiento –por ejemplo, transcribir la nota médica a máquina. Finalmente, la actividad de *clases y capacitación* involucra la asistencia a clases donde un grupo de trabajadores hospitalarios discuten casos clínicos o nuevos métodos para mejorar sus habilidades.

Para clarificar el objetivo de cada actividad discutiendo los artefactos utilizados, las personas involucradas y su localización, en las siguientes líneas presentamos un escenario que muestra un día típico de trabajo de uno de los médicos internos observados –el médico interno Juan. La Figura 14 muestra una representación gráfica de las actividades de Juan mostrando el nivel de fragmentación y sus transiciones constantes de una actividad a otra.

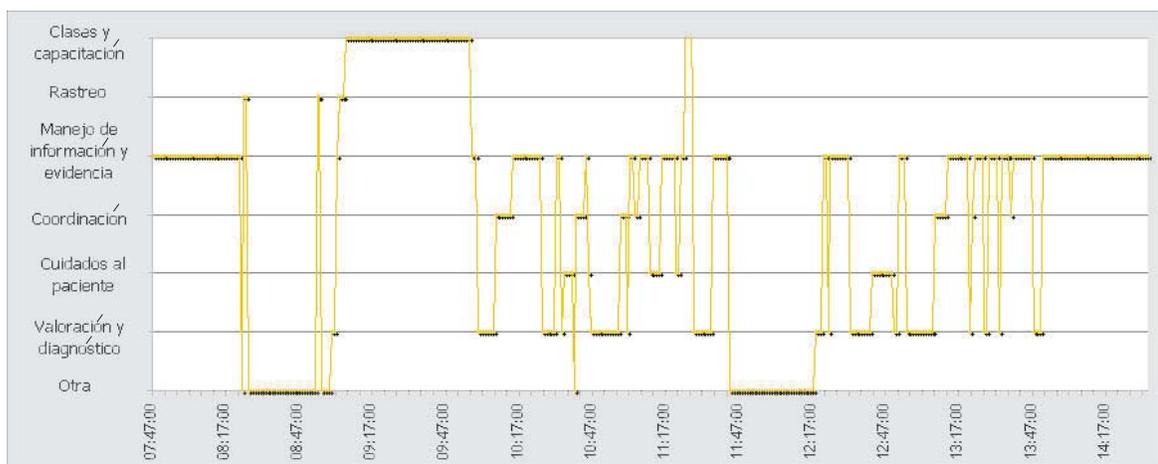


Figura 14 Actividades ejecutadas por un interno durante un día típico de trabajo

A las 7:30 a.m. en la oficina de Medicina Interna el médico interno Juan –quien trabaja en el turno nocturno-, se encuentra documentando el censo y las historias clínicas de los pacientes que ingresaron durante la noche. Para crear dichos documentos Juan utiliza una computadora y consulta sus notas personales, expedientes médicos y hojas de enfermería. El médico de base junto con los otros médicos internos llegan a la oficina para discutir los eventos de la noche. Juan cambia de actividad entregando a los médicos el censo. Utilizando el censo, todos discuten con mayor detalle el estado de los pacientes en el hospital. Juan, después, recopila la información relacionado con los pacientes a su cargo y la coloca en cada uno de los cuartos de los pacientes. Juan se traslada al

laboratorio para recopilar los resultados de laboratorios e integrarlos al expediente médico. A las 9 a.m., Juan regresa a la oficina para escuchar la evaluación de un colega acerca de un caso clínico de interés. Mientras la reunión procede, el familiar de uno de los pacientes asignados a Juan llega a la oficina. El familiar interrumpe la reunión y pregunta por las recetas de dicho paciente. Esta actividad se convierte en una tarea adicional e inesperada por Juan quien tiene que atenderla inmediatamente obligándolo a cambiar de actividad. Juan se traslada a la cama del paciente para valorarlo. Después de una rápida valoración, Juan escribe la receta del paciente. Posteriormente, Juan se reúne con los demás médicos en el área de camas para iniciar la ronda. Durante la ronda, los médicos discuten cada uno de los casos clínicos consultando el expediente y resultados de estudios. Durante la examinación del paciente en la cama 226, el médico de base le pide a Juan que inserte un catéter a dicho paciente. (Juan cambia nuevamente de actividad de discusión de caso clínico a cuidados al paciente). Juan se dirige al almacén para recopilar el equipo médico necesario para la inserción del catéter. Una vez que el catéter se inserta, Juan reporta en el expediente médico el diagnóstico de dicho paciente –cambiando una vez mas de actividad. Finalmente, una vez que Juan termina la ronda, que ocasionalmente dura hasta la 1 o 2 p.m., él pasa el resto de su turno documentando historias médicas en el consultorio.

Esta descripción de un día de trabajo de Juan sirve para ilustrar cómo su trabajo se caracteriza por el cambio constante entre actividades esperadas e inesperadas, la movilidad experimentada y el tiempo invertido en diferentes comportamientos, así como, las interacciones que él tiene con artefactos y colegas. Basados en estos escenarios, se realizaron un segundo análisis para revelar cómo estos casos particulares que describen el trabajo de un solo sujeto podrían influenciar los comportamientos ejecutados por un grupo de trabajadores hospitalarios. Es por ello que se mide cuánto tiempo invierten los trabajadores hospitalarios en cada una de sus actividades (ver Tabla II). Encontramos que el personal médico pasa casi dos minutos (1min, 39 seg.) ejecutando de manera continua una actividad antes de empezar a realizar otra, debido a una interrupción o afectados por un

cambio contextual en el ambiente (e.g., la llegada de un colega). Como se ilustra en la Tabla II, el personal médico invierte aproximadamente el mismo tiempo en la ejecución de actividades centradas en la administración y en los pacientes con un promedio de 2 hrs. 29 min. 59 seg., mientras que el resto de su tiempo se invierte en la realización de actividades centradas en la información.

Tabla II. Actividades: Tiempo en que el personal médico invierte en diferentes actividades

Actividad (tiempo por día por sujeto)	Enfermeras		Médicos internos		Médicos de base		Tiempo total promedio	% del día completo
	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%		
Centradas en pacientes	04:12:49 (01:00:13)	58.71	01:40:32 (00:27:25)	25.22	02:40:48 (00:59:42)	45.75	02:51:23	43.23
Valoración y diagnóstico	00:20:20 (00:08:21)	4.72	01:05:24 (00:20:41)	16.41	02:07:47 (00:24:05)	36.36	01:11:10	19.16
Cuidados al paciente	02:02:19 (00:18:18)	28.41	00:27:42 (00:30:18)	6.95	00:30:42 (00:11:28)	8.73	01:00:14	14.70
Preparación de medicamentos y medicinas	01:50:09 (00:37:33)	25.58	00:07:26 (00:09:31)	1.86	00:02:20 (00:04:00)	0.66	00:39:58	9.37
Centradas en documentos	00:13:29 (00:02:26)	3.13	00:55:59 (00:14:00)	14.04	00:36:46 (00:11:46)	10.46	08:30:55	9.21
Administración de información	00:08:28 (00:04:48)	1.96	00:37:54 (00:10:59)	9.51	00:26:42 (00:22:09)	7.60	00:24:21	6.36
Rastreo	00:05:01 (00:03:52)	1.17	00:18:06 (00:17:36)	4.54	00:10:04 (00:08:39)	2.86	00:11:03	2.86
Centradas en administración	01:46:06 (00:28:54)	24.64	02:42:33 (00:27:43)	40.77	01:51:06 (00:39:56)	31.61	02:06:35	32.34
Coordinación	00:38:07 (00:15:39)	8.85	01:09:21 (00:28:11)	17.40	01:19:20 (00:19:01)	22.58	01:02:16	16.27
Administración de evidencia clínica	01:02:47 (00:13:00)	14.58	01:11:00 (00:40:51)	17.81	00:31:46 (00:32:28)	9.04	00:55:11	13.81
Clases y capacitación	00:05:12 (00:11:37)	1.21	00:22:11 (00:14:15)	5.57	00:00:00	0.00	00:09:08	2.26
Otras	00:58:11	13.51	01:19:36	19.97	00:42:46	12.17	01:00:11	15.22
Todas	07:10:35	100	06:38:40	100	05:51:27	100	06:33:34	100

Una ANOVA⁶ entre enfermeras, médicos de base e internos mostró diferencias significativas entre las actividades centradas en el paciente y documentos. Una prueba

⁶ Una ANOVA es un análisis de varianza que permite comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos

Tukey post-hoc⁷ (con 95 de intervalo de confianza) mostró que existe una diferencia significativa entre enfermeras y médicos (incluyendo internos y de base) en el tiempo total que invierten en la ejecución de actividades centradas en el paciente, $F(12,14)=29.13$ $p<0.001$; y que también difieren con los internos en la ejecución de actividades centradas en documentos $F(12,14)=3.92$, $p<0.049$. Además, analizando la información por rol se pueden ver que el tiempo en que internos se encuentran ejecutando actividades de administración y basadas en documentos sobrepasa el tiempo en que ellos se encuentran enfocados en las actividades centradas en pacientes; al contrario, de las enfermeras y médicos de base. Esto puede ser parcialmente explicado ya que los internos invierten una parte considerable de su tiempo “*configurando*” el ambiente para que los médicos puedan enfocarse en las actividades centradas en pacientes en lugar de aquellas actividades que tienen un rol secundario en el cuidado de pacientes. Por ejemplo, antes de la ronda los internos colocan frente a las camas de los pacientes la información que los médicos necesitan para valorar al paciente (e.g., expediente médico).

Analizando la información para cada una de las actividades, una ANOVA entre enfermeras, médicos de base e internos mostró que no existen diferencias significativas entre la cantidad de tiempo que los ellos invierten en la ejecución de la actividad de rastreo y administración de evidencia clínica; en contraste con el resto de las actividades. Una prueba Tukey post-hoc (con 95 de intervalo de confianza) reveló que para el tiempo en que el personal médico invierte en la ejecución de la actividad de valoración y diagnóstico existen diferencias significativas entre los tres roles, $F(12,14)=38.35$, $p<0.001$. Además, encontramos, que los médicos de base difieren significativamente con las enfermeras e internos en el tiempo que ellos invierten en la ejecución de la actividad de coordinación, $F(12,14)=3.91$, $p<0.049$. Adicionalmente, las enfermeras difieren con los médicos e internos en el tiempo en que ellos invierten en la ejecución de cuidados al paciente, $F(12,14)=67.27$, $p<0.001$ y preparación de medicamentos, $F(12,14)=37.27$, $p<0.001$.

⁷ Un análisis Post-hoc permite analizar la información –después que un experimento se realizó- para descubrir patrones que no fueron especificados *a priori*. De tal manera que cada vez que se consider un patrón en la información, una prueba estadística se ejecuta.

Además, las enfermeras también difieren significativamente con internos en el tiempo que invierten en la ejecución de administración de información, $F(12,14)=4.97$, $p<0.027$. Esto puede ser parcialmente explicado, por que los médicos de base específicamente asignan actividades centradas en documentos y administración a los médicos internos como parte de su proceso de entrenamiento y aprendizaje. Sin embargo, es interesante notar que, en contraste con enfermeras, existe una pequeña diferencia entre el tiempo que los médicos de base se encuentran ejecutando actividades centradas en el paciente y el tiempo que se encuentran ejecutando actividades centradas en información y administración. Esto ocurre debido a la naturaleza colaborativa de las actividades ejecutadas por cada rol. Por ejemplo, mientras los médicos de base e internos ejecutan conjuntamente la mayoría de sus actividades, las enfermeras generalmente las ejecutan solas.

III.2.2. Las rutinas del cuidado diario

De las actividades centradas en el paciente, identificamos un conjunto de acciones que se ejecutan por el personal médico de manera cotidiana como una *rutina* y además, son críticas para proveer calidad de atención a pacientes. Llamamos a estas acciones las *Acciones del Cuidado Diario (ACD)*. El objetivo de una ACD es permitir al personal médico mantener una conexión con pacientes con el fin de conocer de manera continua sus necesidades y progresos. La Figura 15 muestra un escenario de las actividades del cuidado diario ejecutadas por una enfermera.

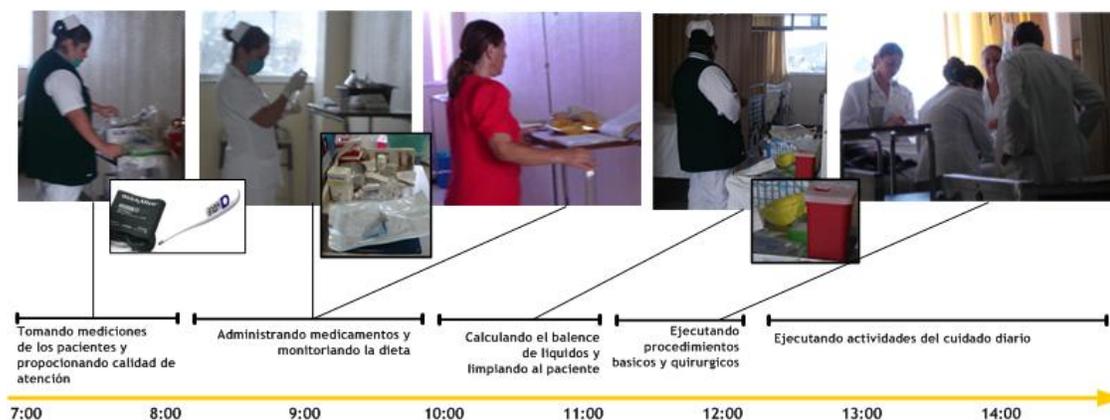


Figura 15. Una enfermera ejecutando acciones del cuidado diario

A las 7:00am en la sala de atención de Medicina Interna, la enfermera Rita, inicia su turno tomando los signos vitales de todos sus pacientes –los pacientes que tiene a su cargo. Mientras realiza esta actividad Rita les pregunta a los pacientes sus síntomas, su estado y les explica su progreso, proporcionándoles calidad de atención. Después, Rita empieza a monitorear la dieta de sus pacientes (i.e., revisar si han comido y qué han comido) y les administra medicinas. Durante esta actividad algunas veces interactúa con los pacientes o con sus familiares para entregarles la medicina o la inyecta directamente a la bolsa de suero usada por el paciente. Después de que Rita termina de administrar las medicinas a todos sus pacientes (actividad que ocasionalmente dura hasta las 10 am), ella empieza a calcular el balance de líquidos midiendo la bolsa de orina de cada uno de sus pacientes. Durante esta actividad Rita limpia y baña a aquéllos pacientes que no pueden realizar esta actividad sin ayuda. Mientras Rita se encuentra realizando estas actividades, los médicos de base e internos inician la ronda. Cuando la ronda ha iniciado, Rita se ajusta al ritmo de trabajo de los médicos asegurándose que la información que ellos necesitan para la ronda haya sido registrada (e.g., los signos vitales de todos sus pacientes o su balance de líquidos). Además, Rita ayuda a los médicos a ejecutar procedimientos básicos o quirúrgicos (como inserciones de catéter) y discute con ellos información relevante del paciente a ser evaluado. Después que la ronda termina, a las 12pm aproximadamente, Rita inicia de nuevo su rutina de ACD consultando las nuevas indicaciones realizadas por los médicos durante la ronda.

Esta descripción de un día de trabajo de Rita sirve para ilustrar como las ACDs ejecutadas por los trabajadores hospitalarios se convierten en una parte central e importante del cuidado clínico de pacientes. Esto lleva al personal médico a ejecutar estas ACD de manera cotidiana más de una vez durante un mismo turno como rutina. Entonces, una *rutina de las acciones del cuidado diario* es una historia coherente y cronológica de la ejecución de varias ACDs. De manera similar a las enfermeras, los médicos ejecutan rutinas de ACDs. La diferencia entre ambas rutinas radica en el objetivo en ejecutarlas. Mientras las ACDs ejecutadas por enfermeras tienen un objetivo más técnico

específicamente relacionado con proporcionar cuidado integral a los pacientes; las ACDs ejecutadas por médicos de base e internos, tienen un objetivo de toma de decisión relacionado con la valoración de casos clínicos. Una rutina ACD de un médico para un caso clínico en particular se describe a continuación:

El médico de base Dr. Pérez inician la valoración de Pedro –un paciente con efisema pulmonar- explorando el pecho del paciente. El Dr. Pérez, además, le pregunta al paciente sus síntomas. Mientras, escucha a Pedro, el Dr. Pérez, consulta su expediente, una radiografía del pecho de Pedro y sus resultados de estudio –evidencia clínica preparada por los internos. Posteriormente, del Dr. Pérez discute el diagnóstico con el especialista y los demás médicos internos.

La Tabla III muestra las ACD que se identificaron para médicos y enfermeras, así como, el tiempo que ellos invierten en su ejecución.

Tabla III Tiempo en que el personal médico invierten en ejecutar ACDs

ACD ejecutadas por enfermeras (tiempo por día por sujeto)	Enfermeras		ACD ejecutadas por médicos e internos (tiempo por día por sujeto)	Internos		Médicos de base	
	Tiempo promedio	%		Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%
Monitoreando la dieta del paciente y administrando medicinas	00:44:56	36.73	Discutiendo el diagnóstico con un paciente	00:14:27	22.10	00:42:12	33.02
Proporcionando calidad de atención	00:33:33	27.43	Examinando evidencia clínica	00:14:59	22.91	00:21:53	17.12
Limpiando a los pacientes	00:19:40	16.08	Explorando al pacientes	00:25:48	39.44	00:30:42	24.03
Tomando signos vitales	00:15:34	12.73	Interrogando a un paciente	00:07:57	12.14	00:23:59	18.77
Ejecutando procedimientos básicos y quirúrgicos	00:06:54	5.64	Emitiendo un diagnóstico	00:02:13	3.40	00:09:01	7.06
Calculando el balance de líquidos y monitoreando las evacuaciones	00:01:42	1.39					
Todas	02:02:19	100	Todas	01:05:24	100	02:07:47	100

Una ANOVA entre médicos e internos no mostró diferencias significativas para las ACDs ejecutadas por ellos, excepto por la actividad de realizar interrogatorios a un paciente con $F(8,9)=3.64$, $p<0.09$. Esto puede ser parcialmente explicado ya que además de los interrogatorios realizados a los pacientes durante el pase de visita, los médicos de

base atienden pacientes de manera individual en su consultorio y por su parte los médicos internos durante la guardia nocturna realizan interrogatorios de manera individual para generar las historias clínicas. Estas diferencias entre el grado de consciencia que un trabajador hospitalario tiene durante la ejecución de una actividad (e.g., cuidados al pacientes) y una acción del cuidado diario (e.g., toma de signos vitales) coincide con la teoría de actividad. Mientras que la actividad y la acción son explícitamente definidas y caracterizadas por un usuario, la operación se ejecuta y concibe de manera inconsciente. Por ejemplo, cuando una enfermera va a curar a un paciente, ésta se encuentra consciente de dicha curación y la preparación de la misma. Sin embargo, las operaciones para curar al paciente tomar el algodón, ponerle al alcohol y presionar la herida del paciente se ejecutan inconscientemente. A pesar de este nivel de inconsciencia en las actividades y acciones, los trabajadores hospitalarios son capaces de diferenciar entre acciones y actividades. Finalmente, algunas veces el nivel de consciencia en la ejecución de actividades/acciones y operaciones cambia. Lo que se observa es que las operaciones se vuelven acciones conscientes dado el riesgo en su ejecución y la colaboración experimentada. Por ejemplo, en una extracción de médula el médico de base pide en voz alta a la enfermera los artefactos que necesitaba durante el procedimiento. Es ahí donde la operación de tomar un artefacto se convierte en una acción.

III.2.3. Actividades monitoreadas por el personal médico

Conforme se avanzó en el análisis de los datos, fue evidente que debíamos analizar tanto las actividades ejecutadas como las actividades monitoreadas; esto nos permitirá, encontrar nuevas oportunidades para aplicar el cómputo consciente de la actividad en hospitales.

Las enfermeras son responsables de proporcionar cuidado integral y especializado a los pacientes. Como parte del cuidado integral, las enfermeras monitorean las actividades del cuidado diario (ADL –por sus siglas en inglés, *activities of daily living*) ejecutadas por los pacientes incluyendo, si el paciente ha tomado su medicina, si ha caminado, comido, si se cayó de la cama, evacuado u orinado, etcétera. Como parte del cuidado especializado, las enfermeras necesitan monitorear los patrones de comportamiento en las actividades que

ponen en riesgo la salud de los pacientes o que indican un fallo interno –resultando algunas veces en una crisis. Estas actividades demandan a las enfermeras monitorear si el paciente está sangrando, está agitado o si tiene insuficiencia respiratoria. Estos patrones de comportamiento asociados a las actividades de riesgo (AR) son monitoreadas a través de los signos vitales de los pacientes.

Diferente información contextual se utiliza para determinar qué actividad se debe ejecutar o monitorear. Por ejemplo, el personal médico está acostumbrado a planear sus tareas en función a las actividades de otros. Por ejemplo, una enfermera explicó: *“Necesito monitorear cuando el paciente orine para calcular inmediatamente la cantidad de orina y así llevar oportunamente su control de líquidos”*. En este caso, la actividad ejecutada actúa únicamente con una señal notificando a la enfermera que debe de capturar la información asociada a dicha actividad. Además, cierta información contextual, como la hora del día, mediciones asociadas a una actividad y el estado de un paciente, se utiliza para determinar que actividades se deben ser monitorear. Por ejemplo, si el paciente tiene un problema cardíaco no debe levantarse de la cama. Entonces, las enfermeras necesitan monitorear cuando un paciente con dicha enfermedad se encuentra fuera de su cama. Finalmente, el personal médico asocia información contextual a las actividades ejecutadas y monitoreadas. Por ejemplo, las enfermeras clasifican las actividades monitoreadas en función a su urgencia asignando tres niveles (i.e., alto, bajo, medio). Por ejemplo, las ADLs se clasifican con un nivel de urgencia menor mientras que las ARs se clasifican con un nivel alto. Claro está que las ADLs pueden evolucionar a un nivel mayor.

A pesar que esto es un paso para obtener un entendimiento profundo de cómo el personal médico invierte su tiempo, así como la naturaleza de su trabajo; todavía tenemos un entendimiento superficial acerca de los factores que afectan la naturaleza de las actividades realizadas por los médicos –su movilidad experimentada, su nivel de interactividad, su manejo de artefactos de información y su nivel de fragmentación. Para entender con mayor claridad este fenómeno se realizaron un análisis específico para cada una de estas características.

III.3. La naturaleza de las actividades humanas

Esta sección presenta los resultados del estudio para ilustrar aspectos importantes de la movilidad, interactividad, manejo de información y fragmentación de actividades experimentadas por el personal médico en su práctica diaria –así como su relevancia estadística. Estos aspectos permiten caracterizar la naturaleza de las actividades humanas.

III.3.1. Movilidad: Las personas que ejecutan las actividades están distribuidas

Como se describe en el escenario del día típico de un médico interno, Juan visitó diferentes lugares físicos para realizar su trabajo. Esos lugares van desde oficinas administrativas hasta salas de atención o áreas especializadas (e.g., laboratorios). Llamamos a estas localizaciones físicas visitadas por los sujetos durante su día de trabajo: *centros de operación*. La Figura 8 muestra un mapa de piso del área que se observa para el estudio donde se pueden ver algunos de los centros de operación identificados. Como se ilustra en la Tabla IV, identificamos nueve centros de operación.

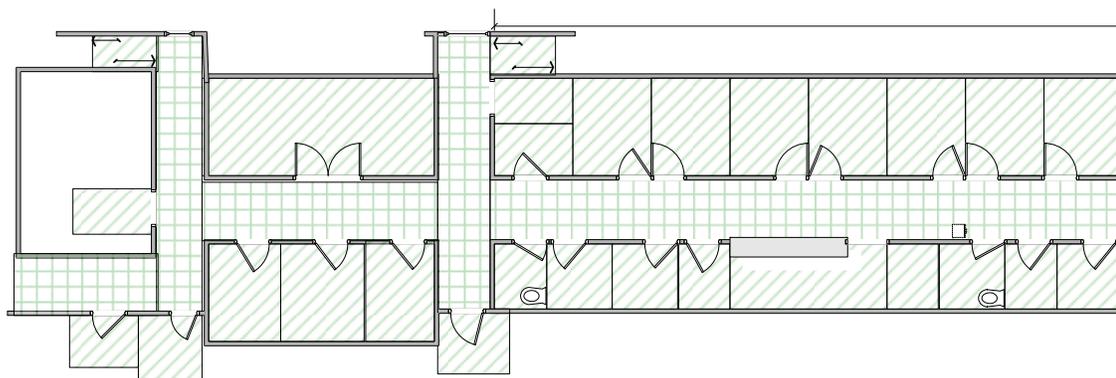


Figura 16. Mapa de piso del área de medicina interna

Áreas clínicas

Las áreas clínicas las visitada el personal médico con el fin de interactuar con pacientes y dar seguimiento a su progreso y necesidades. En estas áreas clínicas, los trabajadores hospitalarios ejecutan, la mayor parte de su tiempo, actividades centradas en los pacientes.

Estas áreas incluyen la sala de atención, la central de enfermeras y áreas especializadas como laboratorios o quirófanos.

Cuartos comunes

Los cuartos comunes son áreas donde los trabajadores hospitalarios acostumbran colaborar con otros a través de interacciones casuales o a tomar un receso. Estos centros de operación incluyen, almacenes, pasillos y salas personales. Por ejemplo, Se observa que cuando los médicos se encuentran en el pasillo, los demás trabajadores hospitalarios los abordan para preguntarles acerca de información específica o problemas relacionados con la valoración de pacientes. Además, los médicos eligen el pasillo para discutir casos clínicos con colegas o pacientes –más aún cuando la condición de salud del paciente es crítica. Es por ello, que las áreas comunes se perciben como “*un espacio cómodo y de disponibilidad*” donde muchas discusiones e intercambio de información ocurren.

Áreas administrativas

El personal médico se dirige a las áreas administrativas para interactuar con personal de soporte, jefes de médicos o jefas de enfermería con el fin de discutir eventos relacionados con la administración de un hospital. Estas áreas incluyen oficinas de médicos, oficinas administrativas o salones de juntas.

La Tabla IV muestra el porcentaje y cantidad de tiempo que el personal médico pasa en cada centro de operación. Como se ilustra en la Tabla IV, el personal médico está la mayor parte de su tiempo en áreas clínicas con un promedio de 3 hrs. 29 min. 28 seg. Una ANOVA entre enfermeras, médicos e internos mostró una diferencia significativa en el tiempo que ellos pasan en áreas clínicas, comunes y administrativas. Una prueba Tukey post-hoc (95% de intervalo de confianza) mostró que las enfermeras difieren significativamente con internos y médicos en el tiempo total que permanecen en áreas clínicas, $F(12,14)=29.32$, $p<0.001$; en áreas comunes, $F(12,14)=33.71$, $p<0.001$ y; en áreas administrativas, $F(12,14)=23.59$, $p<0.001$. La razón de esto es por que los médicos internos realizan muchas actividades centradas en manejo de información y administración –actividades que comúnmente se ejecutan en estos centros de operación. Las enfermeras

además pasan una considerable parte de su tiempo en áreas comunes para estar disponibles y tener oportunidad de coordinar sus actividades con las de otros –ya que la mayor parte de su tiempo ejecutan sus actividades solas. Algo similar sucede con los médicos quien pasan casi 10% de su tiempo en el pasillo. Entonces, analizando la información por rol, encontramos que mientras los internos invierten la mayor parte de su tiempo en áreas administrativas las enfermeras y los médicos lo invierten en áreas clínicas.

Tabla IV Tiempo en que el personal médico invierte en cada centro de operación

Centros de operación (tiempo por día por sujeto)	Enfermeras		Médicos internos		Médicos de base		Tiempo total promedio	% del día completo
	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%		
Áreas clínicas	5:15:59 (1:34:01)	73.39	2:18:54 (0:57:55)	34.84	2:53:02 (1:15:50)	49.23	3:29:18	52.49
Sala de atención	3:00:44 (0:30:51)	41.98	1:51:41 (0:46:56)	28.01	2:23:47 (1:12:57)	40.91	2:25:24	36.97
Central de enfermeras	2:15:15 (0:38:21)	31.41	0:25:47 (0:17:43)	6.47	0:28:24 (0:14:18)	8.08	1:03:08	15.32
Áreas especializadas	0:00:00 (0:00:00)	0.00	0:01:26 (0:02:18)	0.36	0:00:51 (0:02:02)	0.24	0:00:46	0.20
Áreas comunes	1:25:59 (0:44:43)	26.48	0:43:33 (0:09:17)	10.93	0:27:17 (0:11:50)	7.77	1:01:38	15.06
Almacén	1:25:59 (0:24:56)	19.97	0:04:35 (0:03:41)	1.15	0:04:46 (0:11:17)	1.36	0:31:47	7.49
Pasillo	(0:26:45) 0:18:54	6.21	0:22:59 (0:18:43)	5.77	0:22:29 (0:16:08)	6.40	0:24:05	6.13
Áreas personales	(0:01:18) 0:01:14	0.30	0:15:59 (0:16:44)	4.01	0:00:02 (0:00:07)	0.01	0:05:46	1.44
Áreas administrativas	0:00:34 (0:00:24)	0.13	3:36:12 (2:20:47)	54.24	2:31:07 (1:42:47)	43.00	2:02:38	32.46
Jefatura de los médicos	0:00:34 (0:01:04)	0.13	3:27:39 (1:14:49)	52.09	2:26:50 (1:15:37)	41.78	1:58:21	31.33
Áreas administrativas y sala de juntas	0:00:00 (0:00:00)	0.00	0:08:33 (0:25:15)	2.15	0:01:29 (0:04:40)	0.42	0:03:21	0.86
Fuera del hospital	0:00:00 (0:00:00)	0.00	0:00:00 (0:00:00)	0.00	0:02:48 (0:08:51)	0.80	0:00:56	0.27
Todos	7:10:35	100	6:38:40	100	5:51:27	100	2:09:49	100

Analizando la información por cada uno de los centros de operación, una ANOVA entre enfermeras, médicos e internos, no mostró diferencias significativas para el tiempo en que ellos permanecen en la sala de atención, pasillos, oficinas administrativas, salas especializadas y fuera del hospital; mientras que para los otros centros de operación si se

encontraron diferencias. Una prueba Tukey post-hoc reveló que las enfermeras difieren de manera significativa con internos y médicos en el tiempo total en que permanecen en la jefatura de médicos, $F(12,14)=18.91$, $p<0.001$; en la central de enfermeras, $F(12,14)=54.10$, $p<0.001$ y; en el almacén, $F(12,14)=207.05$, $p<0.001$. También encontramos diferencias significativas con enfermeras y médicos en el tiempo total en que ambos permanecen en áreas especializadas, $F(12,14)=10.79$, $p<0.002$. Esto es, ya que a pesar de que ni las enfermeras ni los médicos o internos tienen áreas personales de trabajo (e.g., escritorios), aún así, ellos identifican algunos centros de operación como los lugares donde generalmente operan permaneciendo una proporción significativa de su tiempo. Para las enfermeras estos lugares son la central de enfermeras y el almacén, mientras que para los médicos e internos es la jefatura de médicos. Llamamos a estos lugares “áreas base”.

La Tabla V muestra el porcentaje y tiempo total que el personal médico permanece en su área base y fuera de ella. Encontramos, que las enfermeras se encuentran más tiempo en movimiento (75.85%) alrededor de 4 hrs. 58 min. and 32 seg., en promedio. Mientras que los internos y médicos permanecen 68.87% en su base, alrededor de 4 hrs. 35 min. y 22 seg., en promedio. Sin embargo, es claro que un componente importante del trabajo del personal médico es realizado fuera de su base.

Tabla V. Tiempo en que el personal médico permanece en su base y fuera de ella

Localización (tiempo por día por sujeto)	Enfermeras		Médicos internos		Médicos de base		Tiempo total promedio	% del día completo
	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%		
en su base	2:15:15	31.41	3:43:38	56.10	2:26:52	41.79	2:48:35	43.10
en movimiento	4:55:20	68.59	2:55:02	43.90	3:24:35	58.21	3:44:59	56.90
Todos	7:10:35	100.00	6:38:40	100.00	5:51:27	100.00	6:33:34	100.00

Una ANOVA entre enfermeras, médicos e internos mostró que para el tiempo que el personal médico permanece en su área base existe un diferencia significativa, $F(12,14)=2.48$, $p<0.125$; en contraste con el tiempo que ellos se encuentran en movimiento donde no existe diferencia. Sin embargo, una prueba Tukey post-hoc (95% de intervalo de confianza) mostró que no existen diferencias significativas entre el tiempo que el personal médico se encuentra en su base o en movimiento.

Se realizaron un segundo análisis midiendo el tiempo que el personal médico permanece en distintos centros de operación y la distancia cubierta por ellos durante un turno. Esta información se utilizó para complementar nuestro entendimiento acerca de la movilidad del personal médico⁸. Encontramos que el personal médico en promedio cubre alrededor de un (1) kilómetro durante su turno (media 1076 metros - s.d. 593 metros). Observando episodios de desplazamiento individuales, encontramos que para distancias cortas un sujeto se mueve entre diferentes centros de operación aproximadamente 8.5 metros (d.s., 3.5) en promedio mientras entre un lugar y otro se mueven una distancia considerable de (18.75 metros – d.s. 13.42 metros). Esto indica la alta movilidad experimentada por el personal médico durante su trabajo.

III.3.2. Interactividad: Las actividades son colaborativas

Como se describe en el escenario, Juan interactúa con diferentes personas desde trabajadores hospitalarios hasta pacientes y familiares. Estas interacciones son muy importantes para mantener la colaboración y coordinación necesaria para la correcta ejecución de sus actividades. Además, debido a que estas personas se encuentran distribuidas en espacio y tiempo fue importante para nosotros realizar un análisis más profundo para determinar la frecuencia en las interacciones con otras personas. Identificamos once *roles* relevantes los cuales fueron clasificados en función al propósito de la interacción.

Interacciones clínicas

El personal médico interactúa con sus pares o con otros trabajadores hospitalarios a cargo de pacientes para efectos clínicos ya sea para realizar un procedimiento quirúrgico en colaboración o discutir un caso clínico para emitir un diagnóstico. Entre estos roles incluimos internos, médicos, especialistas y enfermeras. Las interacciones clínicas se llevan a cabo co-localizadas principalmente pero también podrían realizarse a través de

⁸ Este análisis fue realizado con cuatro informantes cubriendo los turnos de la noche donde el personal médico experimenta menos movilidad.

otros medios (e.g., teléfonos). Además, la mayor parte de estas interacciones son verbales y durante estas interacciones el personal médico generalmente consulta, comparte y transfiere artefactos de información.

Interacciones de valoración y recomendación

El personal médico interactúa con pacientes y sus familiares para informales su progreso y notificarles eventos relacionados con dichos pacientes. Por ejemplo, si un paciente se ha dado de alta, la enfermera debe explicarle a él o sus familiares como deberá continuar con su tratamiento. Este tipo de interacciones se tienen siempre co-localizadas y algunas veces involucran el intercambio de documentos o artefactos físicos (e.g., medicinas o material).

Interacciones de administración y soporte

El personal médico interactúa con jefes y con el personal administrativo y de soporte con el fin de notificarles el estado del área o discutir tareas pendientes. Por ejemplo, una enfermera puede llamar al laboratorio para preguntar si está lista la prueba de sangre de un paciente. Estas interacciones son verbales y se tienen por teléfono y algunas co-localizadas.

La Tabla VI muestra el porcentaje y la cantidad de tiempo que el personal médico interactúa con diferentes roles. El tiempo total de interacciones es mayor a 100% debido a que durante la ejecución de una actividad un trabajador hospitalario podría interactuar con más de una persona. Por ejemplo, como se muestra en el escenario, durante la ronda Juan interactúa con otros médicos internos, el médico de base, una enfermera y el paciente. Entonces, para nuestro análisis no se consideró únicamente a la persona con la que se tenía la interacción primaria si no al total de participantes involucrados en la actividad. Como se indica en la Tabla VI, la mayoría de las interacciones se tienen por propósitos clínicos (92.98%), seguidas de las interacciones de recomendación y valoración (29.27%) y finalmente las de soporte y administración (10.5%).

Una ANOVA entre enfermeras, médicos e internos mostró diferencia significativa entre las interacciones clínicas, así como, con las de recomendación y valoración. Una prueba Tukey post-hoc (con 95% de intervalo de confianza) reveló que los internos difieren significativamente con enfermeras y médicos en el tiempo total que tienen

interacciones clínicas, $F(12,14)=39.37$, $p<0.001$; y que también difieren con enfermeras en la cantidad de interacciones de recomendación y soporte, $F(12,14)=5.24$, $p<0.02$. Esto puede ser parcialmente explicado ya que los internos son médicos en entrenamiento que no tienen la experiencia para informar las decisiones a los pacientes. Es por ello, que los internos no pueden realizar este tipo de actividades sin supervisión.

Tabla VI Tiempo que el personal médico invierte interactuando con trabajadores hospitalarios

Interacciones(tiempo por día por sujeto)	Enfermeras		Médicos internos		Médicos de base		Tiempo total promedio	% del día completo
	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%		
Interacciones clínicas	5:05:49	71.03	8:04:25	121.51	5:03:38	86.39	6:04:38	92.98
Internos	0:13:51 (0:13:47)	3.22	3:15:54 (1:13:18)	49.14	3:05:58 (1:05:46)	52.91	2:11:54	35.09
Nadie	3:09:55 (0:35:24)	44.11	2:00:27 (0:52:46)	30.21	0:56:41 (0:31:54)	16.13	2:02:21	30.15
Médicos de base	0:05:32 (0:10:23)	1.29	2:12:21 (1:03:43)	33.2	0:08:45 (0:16:50)	2.49	0:48:53	12.33
Enfermeras	1:27:07 (0:26:24)	20.23	0:19:42 (0:14:43)	4.94	0:23:58 (0:20:59)	6.82	0:43:36	10.66
Especialistas	0:09:24 (0:15:38)	2.18	0:16:01 (0:26:48)	4.02	0:28:16 0:23:33	8.04	0:17:54	4.75
Interacciones de recomendación y valoración	2:24:46	33.62	1:04:03	16.07	2:13:58	38.12	1:54:16	29.27
Paciente	1:59:24 (0:25:57)	27.73	0:46:45 (0:25:12)	11.73	1:32:06 (0:52:26)	26.21	1:26:05	21.89
Familiar	0:25:22 (0:16:54)	5.89	0:17:18 (0:10:39)	4.34	0:41:52 (0:18:07)	11.91	0:28:11	7.38
Interacciones de soporte y administración	0:23:55	5.54	0:34:14	8.59	0:00:00	17.34	0:39:42	10.5
Jefa de enfermera	0:17:58 (0:11:20)	4.17	0:06:54 (0:06:12)	1.73	(0:12:29) 0:17:38	3.55	0:12:27	3.24
Administrativo	0:00:00 (0:00:00)	0	0:21:04 (0:26:29)	5.28	(0:18:57) 0:18:13	5.39	0:13:20	3.47
Jefe de médicos	0:00:10 (0:00:20)	0.04	0:03:35 (0:06:44)	0.9	(0:21:39) 0:20:25	6.16	0:08:28	2.37
Personal de soporte	0:05:47 (0:02:15)	1.33	0:02:41 (0:01:25)	0.68	(0:07:54) 0:13:26	2.24	0:05:27	1.42
Otro	0:05:42 (0:17:06)	1.32	0:00:25 (0:00:49)	0.1	(0:01:57) 0:05:05	0.55	0:02:41	0.66
Todos	8:00:12	111.51	9:43:07	146.27	8:20:32	142.4	8:41:17	133.41

Analizando la información por rol, una ANOVA entre enfermeras, médicos e internos mostró que no existen diferencias significativas en el tiempo que el personal médico se encuentra interactuando con especialistas, jefas de enfermeras, otros, personal administrativo y de soporte; a diferencias de los otros roles con los que se encontraron diferencias significativas. Una prueba Tukey post-hoc (95% intervalo de confianza) mostró que los internos y los médicos difieren con las enfermeras en el tiempo que pasan interactuando con otro interno, $F(12,14)=23.05$, $p<0.001$. Similarmente, encontramos diferencias significativas para los tres roles cuando éstos se encuentran solos, $F(12,14)=17.27$, $p<0.001$. Esto puede ser explicado por la naturaleza colaborativa de las actividades realizadas por internos a diferencia de las actividades ejecutadas por las enfermeras. Además, las enfermeras difieren con los internos en el tiempo que se encuentran interactuando con pacientes, $F(12,14)=4.9$, $p<0.002$; y con jefes médicos, $F(12,14)=5.272$, $p<0.023$. Finalmente, encontramos que los internos difieren significativamente con enfermeras y médicos en el tiempo que pasan interactuando con pacientes, $F(12,14)=4.45$, $p<0.36$; y con otros médicos, $F(12,14)=85.62$, $p<0.001$.

También, se realizaron otro análisis para determinar la frecuencia de las interacciones con personas y artefactos. Encontramos que el personal médico interactúa con otros 68.81% del tiempo para intercambiar información y artefactos ya sea de manera verbal o solo observando a otros. Considerando el tiempo total de todas las interacciones, el personal médico invierte 30% de su tiempo en interacciones únicamente verbales, seguidas de las interacciones que involucran el uso de artefactos (25.60%), y 13% de su tiempo se invierte en interacciones observacionales. El personal médico en promedio pasa 2.5 minutos en una interacción antes de interrumpirla.

III.3.3. Administración de información: Una actividad involucra el uso heterogéneo de información

Los trabajadores hospitalarios usan una colección de artefactos heterogéneos para ejecutar una actividad. Por ejemplo, durante la ronda, los médicos utilizan desde artefactos de información como hojas de enfermería, expedientes médicos y resultados de estudio hasta

equipo médico como gasas y bisturís. Identificamos catorce tipos de artefactos utilizados por el personal médico, lo cuales se clasificaron en función al propósito de su uso.

Evidencia clínica

El personal médico consulta la evidencia clínica para averiguar el estado de un paciente y así apoyar su toma de decisión. Entre estos artefactos incluimos el expediente médico, la hoja de enfermería, los resultados de estudio, material de referencia y notas personales. Generalmente, el personal médico consulta y genera la información de evidencia clínica cuando se encuentra en movimiento –fuera de su área base.

Tratamiento de pacientes

El personal médico utiliza artefactos para el tratamiento de los pacientes cuando realiza procedimientos básicos o quirúrgicos. Éstos incluyen medicinas, equipo de curación y de medición (e.g., termómetro o barómetro), y los carritos de material y documentos.

Colaboración y coordinación

El personal médico utiliza artefactos para mantener la colaboración con sus colegas distribuidos en espacio y tiempo. Por ejemplo, el personal médico utiliza el censo o los calendarios para notificar a otros tareas pendientes. Entre estos artefactos incluimos el censo, equipo de comunicación y equipo de despliegue (como pizarrones y corchos).

Administración y soporte

El personal médico utiliza este tipo de artefactos para crear evidencia clínica, así como, para la administración de los servicios del hospital. Por ejemplo, crear una nota de interconsulta utilizando un formato administrativo o realizar una receta. Entre estos artefactos incluimos accesorios de oficina, equipo de cómputo y formas administrativas.

La Tabla VII muestra el tiempo que el personal médico invierte interactuando con diferentes artefactos. Al igual que en las interacciones, el porcentaje de uso de los artefactos es mayor al 100% por que durante una actividad un trabajador hospitalario puede utilizar más de un artefacto simultáneamente.

Tabla VII Tiempo que el personal médico utiliza artefactos

Artefactos (tiempo por día por sujeto)	Enfermeras		Médicos internos		Médicos de base		Tiempo total promedio	% del día completo
	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%	Tiempo promedio	%		
Evidencia clínica	2:08:04 (0:44:27)	29.74	3:13:41 (0:52:04)	48.59	2:29:44 (0:43:56)	42.61	2:37:09 (0:32:37)	40.31
Expediente médico	0:18:27 (0:09:23)	4.28	2:05:06 (0:40:14)	31.38	1:46:54 (0:43:39)	30.42	1:23:29	22.03
Hoja de enfermería	1:44:03 (0:30:58)	24.16	0:02:25 (0:02:21)	0.61	0:22:00 (0:16:25)	6.26	0:42:49	10.34
Resultados de estudio	0:01:27 (0:02:07)	0.34	0:07:12 (0:03:50)	1.81	0:16:48 (0:16:09)	4.78	0:08:29	2.31
Material de referencia	0:04:07 (0:03:56)	0.96	0:08:15 (0:16:04)	2.07	0:03:18 (0:05:42)	0.94	0:05:13	1.32
Notas personales	0:00:00 (0:00:00)	0	0:50:43 (0:46:27)	12.72	0:00:44 (0:01:32)	0.21	0:17:09	4.31
Tratamiento de pacientes	3:13:26 (1:16:17)	44.93	0:23:22 (0:06:25)	5.86	0:27:51 (0:07:00)	7.92	1:21:34 (0:28:00)	19.57
Medicinas y material de curación	2:32:27 (0:49:00)	35.41	0:15:08 (0:12:28)	3.8	0:10:54 (0:14:53)	3.1	0:59:30	14.1
Equipo de medición	0:16:43 (0:07:49)	3.88	0:03:14 (0:03:10)	0.81	0:15:20 (0:14:31)	4.36	0:11:46	3.02
Carritos de medicina y documentos	0:24:16 (0:09:39)	5.64	0:05:00 (0:02:35)	1.25	0:01:37 (0:02:21)	0.46	0:10:18	2.45
Colaboración y coordinación	0:03:29 (0:01:31)	0.81	1:14:56 (0:33:22)	18.79	0:19:16 (0:02:21)	5.48	0:32:33 (0:11:32)	8.37
Censo	0:00:00 (0:00:00)	0	1:03:23 (1:11:34)	15.9	0:08:44 (0:08:02)	2.48	0:24:02	6.13
Equipo de comunicación	0:02:52 (0:03:42)	0.67	0:08:21 (0:08:42)	2.09	0:06:30 (0:03:30)	1.85	0:05:54	1.54
Equipo de despliegue	0:00:37 (0:01:33)	0.14	0:03:12 (0:03:57)	0.8	0:04:02 (0:05:52)	1.15	0:02:37	0.7
Administración y soporte	1:31:01 (0:44:47)	21.14	2:14:40 (0:24:49)	33.78	1:10:32 (0:15:46)	20.07	1:38:44 (0:21:29)	24.99
Accesorios de oficina	1:22:01 (0:30:37)	19.05	0:49:17 (0:24:33)	12.36	0:39:40 (0:28:49)	11.29	0:56:59	14.23
Equipo de cómputo	0:02:42 (0:05:31)	0.63	1:07:13 (0:52:21)	16.86	0:08:10 (0:14:08)	2.32	0:26:02	6.6
Formas administrativas	0:06:18 (0:08:53)	1.46	0:18:10 (0:16:06)	4.56	0:22:42 (0:13:12)	6.46	0:15:43	4.16
Ninguno	0:11:12 (0:03:20)	2.6	0:17:50 (0:17:20)	4.5	1:13:06 (0:54:33)	20.8	0:34:02 (0:23:10)	9.3
Todos	7:07:12	99.22	7:24:29	111.52	5:40:29	96.88	6:44:02	102.54

Una ANOVA entre enfermeras, médicos e internos y una prueba Tukey post-hoc (con 95% de intervalo de confianza) mostró que las enfermeras difieren significativamente con internos en el tiempo total en que utilizan artefactos para tratamiento de pacientes, $F(12,14)=45.04$, $p<0.0001$; y artefactos que soportan su colaboración y coordinación, $F(12,14)=4.27$, $p<0.04$. Analizando la información para cada artefacto, una ANOVA entre los roles observados mostró que no existen diferencias significativas en el uso de formas administrativas, equipo de medición, equipo de comunicación, material de referencia y equipo de despliegue. En contraste, una prueba Tukey post-hoc (con 95% de intervalo de confianza) mostró que las enfermeras difieren significativamente con médicos e internos en el uso de expedientes médicos, $F(12,14)=13.92$, $p<0.001$; equipo de medicina y tratamiento, $F(12,14)=43.49$, $p<0.0001$; hojas de enfermería, $F(12,14)=55.82$, $p<0.0001$ y; carritos de medicina y documentos, $F(12,14)=24.01$, $p<0.0001$. Además, las enfermeras difieren significativamente con internos en el uso de censos, $F(12,14)=5.06$, $p<0.025$ y con los médicos en el uso de resultados de estudio, $F(12,14)=8.33$, $p<0.005$; mientras que los internos difieren significativamente con enfermeras y médicos en el uso de equipo de cómputo, $F(12,14)=8.46$, $p<0.005$.

A pesar que esta clasificación muestra el propósito general en el uso de artefactos, Se observa que el personal médico algunas veces transforma la función de un artefacto asociándole información relevante o relacionada a una actividad. Por ejemplo, clasificamos el expediente médico como un artefacto de referencia, pero Se observa que algunas veces el personal médico utiliza el expediente para dejar notas a otros, ya que dichas notas o mensajes podrían ser únicamente relevantes cuando el siguiente doctor se encuentra evaluando al paciente. Entonces, por un periodo de tiempo determinado, el personal médico utiliza el expediente médico como apoyo a su coordinación y no en el cuidado de los paciente. En este caso, la función de este artefacto fue transformada ya que un médico durante la valoración de un paciente consultará el expediente y visualizará la nota.

Debido a que estos elementos no están concentrados en un lugar, sino, distribuidos en espacio y tiempo (Bardram y Bossen, 2005), el personal médico debe incorporar a su práctica diaria estrategias para garantizar que la información y los artefactos se localizan en el lugar adecuado cuando y donde se necesiten. Nosotros llamamos a esta estrategia:

“preparar el ambiente antes de la ejecución de una actividad”. Por ejemplo, antes de la ronda los internos recorren el hospital recopilando la información relacionada con los pacientes a su cargo para luego colocarla en la cama del paciente.

III.3.4. Fragmentación de actividades: Las actividades son dinámicas

Las actividades ejecutadas por el personal médico son fragmentadas debido a interrupciones o cambios en el ambiente (e.g. si el paciente se colapsa o llega un colega). Encontramos, que el personal médico sólo dura 1.5 minutos en la ejecución continua de una actividad. Encontramos que este nivel de fragmentación es influenciado por el lugar en que las actividades se ejecutan. Como se muestra en la Figura 14, el pase de visita se condujo de 10am a 1:30pm y las actividades ejecutadas en este periodo de tiempo tienen un nivel de fragmentación mayor a las actividades ejecutadas antes de la ronda. Por ejemplo, como se muestra en la figura:

A las 10:20pm, por 1 minuto, Juan evaluó la condición de un paciente. Durante esta actividad, el médico de base le pidió a Juan insertar un catéter. En base a esto, Juan inmediatamente cambió su actividad por cuidados al paciente (5 min.). Juan interrumpió esta actividad, para buscar el equipo médico necesario para realizar el procedimiento (30 seg.). Finalmente, Juan reportó el procedimiento en el expediente (2 min.).

Esta observación corresponde a las acciones ejecutadas durante la inserción del catéter las cuales duraron menos de 10 minutos. En general, las actividades ejecutadas antes de la ronda duraron 20 minutos mientras que las actividades durante la ronda no exceden de 5 minutos (aprox.). Estos resultados coinciden con otros reportados en la literatura que indican que los patrones temporales o “ritmos” de trabajo experimentados por el personal médico se utilizan para coordinar sus actividades (Reddy y Dourish, 2002). Lo que se observa es que estos patrones temporales también contribuyen al nivel de fragmentación experimentado por el personal médico.

La Tabla VIII muestra el tiempo que el personal médico pasa de manera continua en la ejecución de una actividad. Como se muestra, los trabajadores hospitalarios pasan no más

de 3 minutos (en promedio) ejecutando continuamente una actividad -siendo las actividades centradas en documentos en las que el personal médico tarda más tiempo en interrumpir su actividad (1 min. 46 seg.). Como se ilustra en la tabla, el nivel de fragmentación en general es muy alto.

Tabla VIII Tiempo en que el personal médico invierte de manera continúa en sus actividades

Actividad (tiempo por día por sujeto)	Enfermeras		Médicos internos		Médicos de base		Media total segmentos	Total Prom. # de seg.
	Media de segmentos (s.d)	#Prom. de seg. (s.d)	Media de segmentos (s.d)	#Prom. de seg. (s.d)	Media de segmentos (s.d)	#Prom. de seg. (s.d)		
Centradas en pacientes	00:01:27 (00:00:20)	44.90 (40.97)	00:01:52 (00:00:20)	14.93 18.24	00:01:01 (00:00:09)	36.45 53.58	00:01:27	32.09
Valoración y diagnóstico	00:01:03 (00:00:48)	19.50 (10.45)	00:01:33 (00:00:59)	42.03	00:01:07 (00:00:36)	115.10	00:01:14	58.88
Cuidados al paciente	00:03:11 (00:02:10)	89.20 (38.85)	00:03:44 (00:04:15)	14.32 20.95	00:02:09 (00:01:49)	27.80 40.36	00:03:01	43.77
Preparación de medicamentos y medicinas	00:01:33 (00:01:29)	70.90 (25.20)	00:02:13 (00:04:08)	3.36 2.30	00:00:48 (00:00:47)	2.90 5.13	00:01:31	25.72
Centradas en documentos	00:00:46 (00:00:10)	8.65 (1.34)	00:01:04 (00:00:01)	26.23 12.87	00:00:52 (00:00:11)	20.20 9.19	00:00:54	18.36
Administración de información	00:00:53 (00:00:34)	9.60 (8.44)	00:01:04 (00:00:34)	35.33 19.31	00:01:00 (00:00:34)	26.70 7.57	00:00:59	23.88
Rastreo	00:00:39 (00:00:59)	7.70 3.96	00:01:03 (00:01:17)	17.13 13.74	00:00:44 (00:00:20)	13.70 15.16	00:00:49	12.84
Centradas administración	00:01:31 (00:00:21)	25.43 19.94	00:02:52 (00:01:49)	27.66 21.07	00:00:56 (00:00:49)	27.70 31.46	00:01:46	26.93
Coordinación	00:01:09 (00:01:03)	33.10 14.83	00:01:31 (00:01:02)	45.68 27.28	00:01:17 (00:01:32)	61.90 12.39	00:01:19	46.89
Administración de evidencia clínica	00:01:33 (00:00:45)	40.40 17.52	00:02:10 (00:01:43)	32.81 23.80	00:01:30 (00:02:29)	21.20 13.08	00:01:44	31.47
Clases y capacitación ⁹	00:01:51 (00:01:51)	2.80 6.26	00:04:56 (00:03:59)	4.50 3.57	00:00:00 (00:00:00)	0.00 0.00	00:02:16	2.43
Otras	00:02:10 (00:03:04)	6.70 9.48	00:01:35 (00:02:15)	12.52 17.71	00:01:27 (00:00:57)	10.25 13.93	00:01:44	9.82
Todos	00:05:54	85.68	00:07:24	81.34	00:04:15	94.60	00:05:51	87.21

Para analizar con mayor detalle la naturaleza de la fragmentación de las actividades realizadas en un hospital, se mide las transiciones de una actividad a otra (ver Tabla IX). Encontramos, que las actividades presentan un fenómeno recurrente, lo que significa que la

⁹ La actividad de clases y capacitación presenta este nivel de fragmentación ya que este comportamiento fue ejecutado por solo cuatro de nuestros informantes durante el periodo de observación

probabilidad de continuar ejecutando esta actividad es mayor que cambiar a ejecutar otra. Encontramos que este nivel de recurrencia es proporcional a la localización donde la actividad se ejecuta, y en un menor grado, a su duración. Por ejemplo, la actividad de clases y capacitación es la actividad con un nivel de recurrencia mayor. Como se ilustra en la Figura 14, esta actividad se realizó por una (1) hora aproximadamente y se ejecutó en áreas base (e.g., oficinas). En contraste, de rastreo que se ejecuta recorriendo el hospital con un promedio de ejecución continua de 51 seg. De hecho, el nivel de fragmentación experimentado por el personal médico cuando se encuentra en movimiento (73.21%) es mayor el experimentado cuando se encuentra en su área base (26.79%).

Tabla IX. Matriz de transición de una actividad a otra

Actividades (% por día por sujeto)	VYD	CP	C	PM	MI	R	CC
Valoración y diagnóstico (VYD)	58.53	11.45	13.05	6.22	7.93	2.77	0.05
Cuidados al paciente (CP)	24.02	45.98	13.50	6.86	6.76	2.88	0.00
Coordinación (C)	19.62	8.76	48.33	6.07	11.85	5.17	0.19
Preparación de medicamentos (PM)	20.54	24.26	8.30	42.74	1.98	2.18	0.00
Manejo de información (MI)	19.29	8.16	15.54	6.26	46.01	4.70	0.05
Rastreo (R)	15.30	13.47	16.22	8.30	12.37	34.34	0.00
Clases y capacitación (CC)	1.39	1.79	0.00	0.00	4.17	0.00	92.66

III.4. Resumen y discusión

En este capítulo se describe un estudio realizado en un hospital público de Ensenada con el fin de caracterizar las actividades ejecutadas por el personal médico. El estudio está limitado por la poca cantidad de informantes y las áreas de hospital observadas. Se observaron a quince trabajadores hospitalarios por dos turnos completos, y con esta muestra no es posible derivar resultados que puedan ser estadísticamente significativos y se puedan extender entre poblaciones mayores. Sin embargo, las actividades ejecutadas por el personal médico son en general similares a otros hospitales en México y otros países (Reddy *et. al.*, 2001; Reddy y Dourish, 2002; Bardram y Bossen, 2003; Bardram y Bossen, 2005; Skov y Hoegh, 2006), por lo que creemos que los resultados no están restringidos a este hospital en particular. Sin embargo, nuestros esfuerzos estuvieron centrados en adquirir una considerable cantidad de información detallada observando pocos individuos

en diferentes circunstancias. Es por ello, que la importancia de nuestros resultados recae en la naturaleza cualitativa de la información recabada y el análisis realizado. Por otra parte, el estudio lo se realizaron en un lugar donde la tecnología de información estaba limitada – las prácticas basadas en documentos eran dominantes. Sin embargo, nuestros esfuerzos estaban centrados en entender las características de los comportamientos exhibidos por los trabajadores hospitalarios, los cuales pueden emerger independientemente del soporte computacional.

Esta caracterización ayudó a identificar los retos que el personal médico enfrenta durante el monitoreo de pacientes. Estos retos incluyen aquéllos relacionados con la identificación de la actividad ejecutada por los pacientes y su significado en términos de sus necesidades, así como, la administración en el acceso a dicha información. Para un mejor entendimiento agrupamos estas necesidades en tres:

Falta de información oportuna

Debido a que las actividades ejecutadas por el personal médicos están distribuidas, el monitoreo adecuado de los pacientes a su cargo representa un gran reto. Por ejemplo una enfermera realizó el siguiente comentario durante una entrevista: “*cuando estoy en el cuarto de un paciente estoy encerrada en dicho cuarto y no puedo darme cuenta de lo que sucede con mis otros pacientes, estoy totalmente desconectada de aquellos pacientes y en 1 o 2 minutos mil cosas pueden suceder por que yo estoy allá y no acá*”. Entonces en este caso las enfermeras podrían no estar conscientes de los problemas y necesidades de los pacientes a su cargo debido a que no se tiene una proximidad física con ellos.

El contexto de trabajo afecta el significado de una actividad

Información contextual como la hora del día e información asociada a la actividad ejecutada por pacientes (como su estado, enfermedad o ritmo cardíaco) modifican la manera en que un paciente realiza una actividad afectando una previa decisión realizada por una enfermera con respecto a él. Por ejemplo, las enfermeras no monitorean muchas actividades realizadas por los pacientes dado que no son significativas para su enfermedad. Sin embargo en segundos, dependiendo de la condición del paciente o por la reciente administración de alguna medicina, dicha actividad que previamente era irrelevante puede

convertirse en urgente –como se describe en el escenario. Además, la actividad realizada por algún paciente aunada con información contextual puede tener diferentes connotaciones significando un problema no aparente. Por ejemplo, si un paciente en cama se está moviendo de manera constante, una enfermera podría interpretar que él está haciendo los ejercicios que le fueron sugeridos. Sin embargo, este paciente puede estar sufriendo de un ataque, cayéndose de la cama o presentando mucho dolor. Ni aún con un monitoreo constante las enfermeras son capaces de interpretar todos los significados que una actividad puede connotar ya que el contexto de trabajo cambia muy rápido.

Asimetría entre la cantidad de información que se necesita consultar y el nivel de intrusividad en consultarla

Mientras más información acerca de un paciente conoce una enfermera mejor puede identificar puntualmente sus necesidades. Sin embargo, mientras más sea la información que se le notifique a la enfermera, serán mayores las interrupciones en su trabajo. Esta asimetría entre tener información continua de las actividades de un paciente y nivel de intrusividad puede llevar a una enfermera a ignorar eventos importantes y urgentes relacionados con un paciente. Por ejemplo, en el caso de Pedro sería muy intrusivo para una enfermera ser notificada cada vez que Pedro ha orinado –más aún si éste orina con mucha frecuencia. Sin embargo, es importante para ella saber cuando Pedro ha orinado más de cinco veces en un periodo de tiempo o cuando la cantidad total de orina excede cierto umbral. En el caso de otro paciente podría ser que una enfermera necesite saber exactamente cada vez que éste orine. Entonces se debe buscar una forma de notificación que permita balancear esta asimetría, una forma de notificación que tenga el rol ambiguo de ser sutil y a la vez sugestiva.

Dificultad de administración de múltiples cursos de acción

El hecho que el contexto de trabajo en el hospital cambie tan rápidamente le dificulta al personal médico la planeación de sus actividades. Por ejemplo, un médico puede tener una cirugía programada pero un paciente puede colapsar y debe atenderlo cambiando su plan inicial. Entonces se debe buscar una manera para que la tecnología sea capaz de adaptarse a diferentes cursos de acción y hacer planes de contingencia.

Estos retos revelan nuevas oportunidades para el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad en soporte al monitoreo de pacientes; tecnología que permita balancear dicha asimetría en el acceso a información siendo sutil pero a la vez lo suficientemente sugestiva para ser percibida de manera oportuna por la enfermera. Donde la actividad ejecutada por los pacientes y sus diferentes significados sea tomada en cuenta para notificar a una enfermera de aquéllos eventos relevantes y relacionados con los pacientes a su cargo; tomando entonces las actividades como unidad central hacia el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad. Debido a la movilidad, interactividad, manejo de información heterogénea y fragmentación de actividades el desarrollo de tecnología consciente de la actividad que permita lidiar con estas características resulta complejo. En el siguiente capítulo discutimos una arquitectura que facilita la implementación de este tipo de aplicaciones tomando en cuenta estos retos.

Capítulo IV

Estimación de actividades ejecutadas por el personal médico

Para construir aplicaciones conscientes de la actividad uno de los grandes retos es estimar la actividad del usuario. Mucha investigación en cómputo ubicuo se ha enfocado en diseñar métodos para inferir contexto. Estos métodos incluyen desde aquéllos que estiman contexto primario (como identidad o rol) hasta aquéllos que infieren contexto secundario (como localización, actividad o disponibilidad). Mientras muchos de estos parámetros se pueden determinar con cierta facilidad otros como la actividad son mucho más difíciles de estimar. Uno de los más grandes retos para el diseño y desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad es estimar la actividad del usuario. En este capítulo se describe una solución para estimar las actividades ejecutadas por el personal médico utilizando algoritmos de reconocimiento de patrones. Primero, se presenta como estos datos fueron procesados para que se pudieran utilizar para entrenar algoritmos de reconocimiento de patrones. Posteriormente, se presenta una primera solución basada en el uso de redes neuronales para estimar la actividad (Favela *et. al.*, 2006; Favela *et. al.*, 2007). Enseguida, se presenta otra solución basada en modelos ocultos de Markov (Sanchez *et. al.*, 2007; Sanchez *et. al.*, 2008). Finalmente, se comparan los resultados de ambos algoritmos y se discute la factibilidad y aplicabilidad del método.

IV.1. Recolección y pre-procesamiento de los datos

Del caso de estudio (ver Capítulo 3), se obtuvieron un total de 2735 muestras con un promedio por actividad de 390 muestras (Desv. St. de 38). Del total de muestras obtenidas, se formaron dos conjuntos de datos: uno para entrenar y el otro para probar algoritmos de reconocimiento de patrones. La Tabla X presenta la cantidad de muestras que se obtuvieron para cada una de las actividades ejecutadas por el personal médicos (agrupadas por rol), así como, la cantidad de muestras utilizadas para entrenar y probar la red.

Tabla X. Número de muestras utilizadas para entrenar y probar la red neuronal

Actividad	Enfermeras		Médicos internos		Médicos de base	
	Total de muestras	Entrenamiento/ Prueba	Total de muestras	Entrenamiento/ Prueba	Total de muestras	Entrenamiento/ Prueba
Valoración y diagnóstico	608	150/80	479	150/80	1258	150/80
Cuidados al paciente	899	150/80	156	90/60	287	150/80
Coordinación	347	150/80	513	150/80	592	150/80
Preparación	663	150/80	36	-	41	-
Manejo de información	121	72/40	667	150/80	339	150/80
Rastreo	69	-	176	-	136	-
Clases y capacitación	28	15/10	36	15/10	-	-

Como se puede ver, la cantidad de muestras obtenidas para cada actividad depende del rol que ejecuta dichas actividades. Por ejemplo, mientras las enfermeras ejecutaron más instancias de ejecución de cuidados al paciente (899), los médicos de base realizaron más instancias de la actividad de valoración diagnóstico (1258) y los médicos internos de manejo de información (677). Debido a esto, para algunas actividades ejecutadas por ciertos roles no fue posible obtener suficientes muestras para entrenar los algoritmos. Por ejemplo, para la actividad de preparación se obtuvieron únicamente 41 muestras para internos y 36 muestras para médicos de base; mientras que, para las enfermeras se obtuvieron 663 muestras. Similar a la actividad de preparación, las muestras obtenidas para las actividades de rastreo y clases y capacitación no están balanceadas. Tener esta cantidad pequeña de muestras para entrenar los algoritmos afectaría su memoria reduciendo la precisión en la estimación de estas actividades. Es por ello que se decidió eliminar estas actividades de nuestros experimentos. Para los tres roles se eliminó la actividad de rastreo. Para los médicos internos también se eliminó la actividad de preparación y para los médicos de base se eliminaron las actividades de preparación y clases y capacitación.

Para evitar un entrenamiento influenciado por la gran cantidad de muestras en los datos de entrenamiento para algunas actividades, como cuidados al paciente cuya periodicidad en un turno es considerable, dichas actividades se balancearon tomando solo 230 muestras tomadas al azar. Una vez que el conjunto de datos fue reducido se utilizaron 65% de éstos para entrenamiento y 35% para prueba.

Se realizaron diferentes experimentos utilizando varias configuraciones de algoritmos de reconocimiento de patrones y utilizando diferentes tamaños del conjunto de datos para entrenamiento; sin embargo, en las siguientes secciones solo presentaremos los resultados de las muestras balanceadas –la configuración se muestra en la Tabla X.

IV.2. Redes neuronales para estimar actividades

En esta sección se discute la metodología que se siguió para entrenar y probar una red neuronal de retropropagación para estimar las actividades ejecutadas por el personal médico (Favela *et. al.*, 2006; Favela *et. al.*, 2007). Primero, se describe la arquitectura de la red neuronal. Posteriormente, se ilustra como se transformaron los datos recabados del estudio a entradas y salidas de una red neuronal. Finalmente, se presentan los resultados de estos experimentos.

IV.2.1. Definición de la arquitectura de la red neuronal

Las redes neuronales (NN, neural networks por sus siglas en inglés) son modelos que presentan un buen desempeño en el reconocimiento de patrones complejos. Una red neuronal es un modelo no-paramétrico que aprende de ejemplos y en base a ésta información traduce secuencias de entrada a secuencias de salida (Duda *et. al.*, 2000). Las redes neuronales están formadas por: (1) *neuronas*, que son las unidades de procesamiento, y (2) *pesos sinópticos*, que forman la “memoria” de la red. Las neuronas están organizadas en capas: una capa de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. Además, cada neurona tiene una función de activación que se utiliza para procesar la información. Dado que las redes neuronales se entrenan con ejemplos, cada vez que la red neuronal detecta un patrón de entrenamiento como entrada, ésta calcula un patrón de salida, el cual después se compara con el patrón correcto. La diferencia (error) entre el patrón correcto y el estimado se propaga hacia atrás y los pesos sinópticos se ajustan. Este método debe repetirse con todas las muestras de entrenamiento hasta que se alcance un porcentaje de error aceptable.

La Figura 17 muestra una arquitectura simplificada de la red utilizada para estimar las actividades del personal médico. Como se muestra en la Figura 17, cinco variables

contextuales se utilizaron para entrenar y probar la red: cuatro de ellas, localización, artefactos, rol y la hora del día, se utilizaron como entradas; mientras que la actividad se utilizó como salida. El código de cada variable contextual se tomó del análisis cualitativo descrito en el capítulo 3. Como se muestra en la Figura 17, las unidades de cada capa están interconectadas con todas las neuronas usando conexiones sinápticas –que contienen los pesos sinópticos.

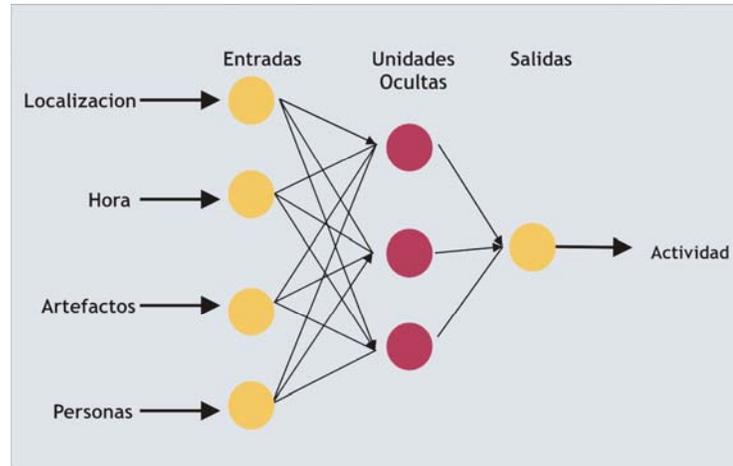


Figura 17. Un vista simplificada de la arquitectura de la red neuronal utilizada para estimar las actividades ejecutadas por el personal médico

Se utilizó una capa oculta con 16 neuronas para la configuración de la red para tener una buena precisión pero sin afectar el desempeño del algoritmo en una PDA. El método de aprendizaje que se utilizó fue el de retropropagación utilizando el algoritmo bayesiano como clasificador¹⁰. Se entrenaron tres redes neuronales para estimar las actividades (una por rol): una para enfermeras, otra para internos y otra para médicos de base –ya que ponerlas todas juntas añadía complejidad y reducía el desempeño. Además, la información contextual que describe a cada actividad depende del rol que la ejecuta. Las redes neuronales se entrenaron utilizando el Toolbox de Matlab.

¹⁰ Se utilizó este algoritmo ya que presenta mejores resultados que las otras variantes utilizadas por los métodos de retropropagación

IV.2.2. Representación de los datos

Para realizar la representación de los datos se utilizaron dos esquemas de codificación: *el esquema del estudio* y *el esquema de la red*. El esquema de codificación del estudio permite transformar los datos cualitativos descritos en el reporte de observación a etiquetas representativas. Por otro lado, el esquema de codificación de la red permite transformar estas etiquetas representativas a valores vectoriales –dichos valores serán los utilizados como entrada a la red. La Figura 18 muestra ambos esquemas ilustrando la transformación.

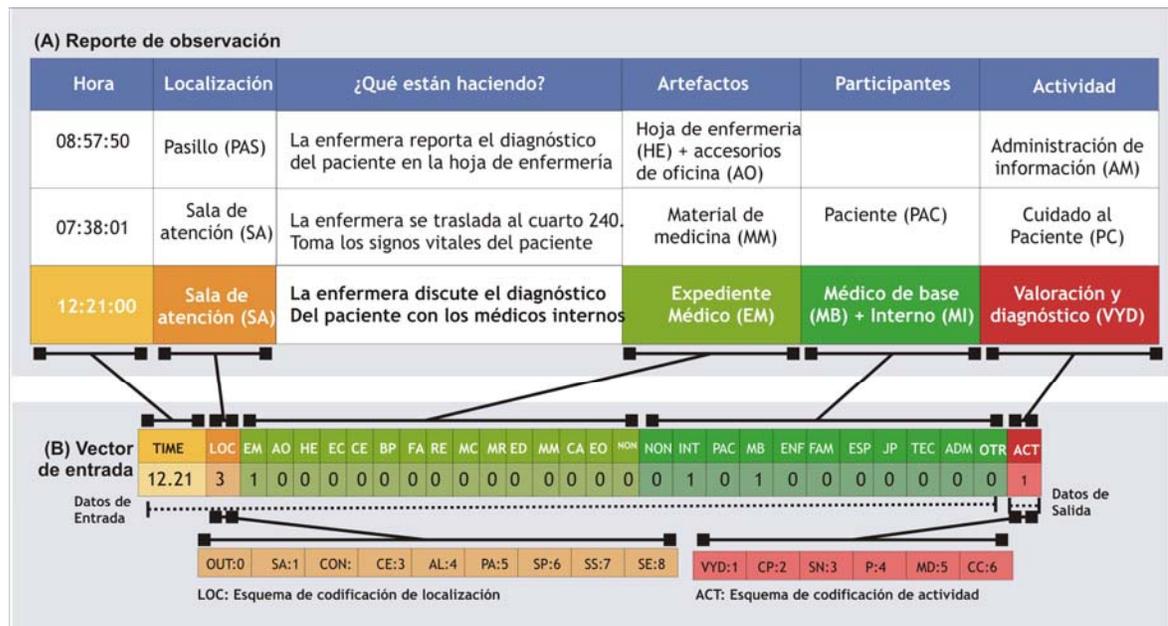


Figura 18. Transformación del reporte de observación a entradas y salidas de la red neuronal (a) Reporte de observación (b) Vector de entrada a la red neuronal

Como se muestra en la Figura 18^a, la información cualitativa capturada en el reporte de observación (ver columna “¿qué están haciendo?”) se codificó siguiendo el esquema del estudio correspondiente a artefactos, personas, localización y actividad. Por ejemplo, para cada una de las actividades identificadas se asignó una etiqueta representativa que fue después codificada en el reporte de observación (ver columna “actividad”). Como se muestra en la Figura 18, a la etiqueta “VYD” en la última columna del último renglón del reporte de observación indica que la actividad que está ejecutando es *valoración y diagnóstico*. En este renglón también se puede observar que la enfermera mientras ejecuta

esta actividad, a las 12:21 se encuentra en la sala de atención, utilizando un expediente médico e interactuando con médicos internos y médicos de base. Este ejercicio se realizó para todas las muestras del reporte de observación.

Posteriormente, estas etiquetas codificadas en el reporte de observación se transformaron a entradas y salidas de las neuronas correspondientes (ver Figura 18b). La red utiliza las siguientes variables contextuales:

- como *entradas*, una neurona para la hora del día, una neurona para la localización, un conjunto de neuronas para las personas involucradas en la actividad y los artefactos utilizados y
- como *salidas*, una neurona para la posible actividad que se está ejecutando.

La hora del día, la localización y la actividad se transformaron utilizando una codificación escalada. Por ejemplo, se asignó un número representativo a cada uno de los lugares que visita el personal médico (como sala de atención, pasillo, oficinas, etcétera). Entonces, en el campo de localización del vector de entrada se asoció este número indicando el lugar dónde esta actividad se está ejecutando. Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 18b, el campo de localización tiene asignado el número 3 –número que corresponde a la sala de atención. (La codificación de actividad y tiempo se realizó de manera similar).

Por otro lado, para las neuronas de artefactos y personas se utilizó una codificación binaria. Ya que para una actividad particular una persona puede utilizar uno o más artefactos o interactuar con una o más personas. Entonces, cada vez que un artefacto o colaborador se encuentra involucrado en una actividad, la neurona de entrada correspondiente tendrá asignado un uno (1) en otro caso un cero (0). Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 18, para codificar el último renglón del reporte de observación se transformaron las etiquetas a valores para las neuronas de la red. Por ejemplo, la neurona TIME (que representa la hora del día) tiene un valor decimal escalado de 12:21 a 12.21, la neurona LOC (que representa la localización) tiene un valor de 3 indicando que la persona se encuentra en la sala de atención, la neurona EM tiene un 1 indicando que se está utilizando un expediente médico y; la neurona INT y MB tienen un 1 indicando que se está interactuando con un interno y con un médico de base. Por otro lado, para la salida de la

red, la neurona ACT tiene el valor de 1 indicando que la actividad que se está ejecutando es valoración y diagnóstico.

El número de neuronas utilizadas para artefactos y personas varía dependiendo del rol. Por ejemplo, para predecir si un interno se encuentra formalizando notas médicas, un artefacto relevante sería la computadora o la máquina de escribir. Sin embargo, las enfermeras no tienen acceso a estos artefactos por lo que no se necesita incluirlos en el entrenamiento de la red neuronal para enfermeras. Entonces, las arquitecturas utilizadas para entrenar las redes dependen del rol. Es por ellos que las redes están compuestas por tres capas con el siguiente número de neuronas: 22-16-7 para enfermeras, 27-16-6 para internos y, finalmente, 25-16-5 para médicos de base –se utilizaron 16 neuronas en la capa oculta para todos los roles.

Dado que las variables contextuales utilizadas para entrenar y probar la red difieren en el formato de datos y se codifican de manera diferente, inferir y administrar estas variables no es trivial para una computadora. Sin embargo, las redes neuronales permiten lidiar con esta complejidad ya que pueden manejar varias variables contextuales codificadas de maneras diferentes. Esta fue una de las razones por las que se decidió utilizarlas como la máquina de inferencia.

IV.2.3. Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados de nuestra solución en la forma de matrices de confusión y se ilustran las estrategias utilizadas para mejorar la precisión.

Matrices de confusión por rol

La Tabla XI presenta la matriz de confusión de las actividades ejecutadas por las enfermeras con un porcentaje de error promedio de 27.49%. Los renglones de la matriz corresponden a los valores de la actividad real (la actividad codificada en el reporte de observación), y las columnas representan a los valores estimados por la red. Los valores de la diagonal son las instancias en las que la red neuronal estimó correctamente la actividad ejecutada, mientras que el resto representan las veces en que la red neuronal falló en predecir la actividad –confundiéndola con otra. El porcentaje de error promedio se calcula

sumando los valores fuera de la diagonal y dividiendo este resultado en el total de muestras utilizadas para probar la red. La actividad que corresponde a clases y capacitación es la actividad estimada con mejor precisión (100%), seguida por cuidados al paciente con 77.50% y preparación con 75%. Es interesante notar que la actividad de clases y capacitación se estimó correctamente todas las veces, ya que la configuración de las variables que conforman el vector de entrada para esta actividad es diferente a todos los demás vectores de entrada.

Tabla XI. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por las enfermeras utilizando redes neuronales

Actividad	VYD	CP	C	PM	MI	CC
Valoración y diagnóstico (VYD)	66.25	10.00	13.75	3.75	6.25	0.00
Cuidados al paciente (CP)	1.25	77.50	5.00	16.25	0.00	0.00
Coordinación (C)	7.50	13.75	73.75	5.00	0.00	0.00
Preparación de medicamentos (PM)	7.50	2.50	13.75	75.00	1.25	0.00
Manejo de información (MI)	16.67	2.38	0.00	19.05	61.90	0.00
Clases y capacitación (CC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100

Entrenamiento 150, prueba 80, pct. Error. 27.49%

La Tabla XII presenta la matriz de confusión de las actividades ejecutadas por los médicos internos con un porcentaje de error promedio de 33%. La actividad que corresponde a manejo de documentos es la actividad estimada con mejor precisión (73.75%), seguida por clases y capacitación con 72.73% y coordinación con 67.50%.

Tabla XII. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por los médicos internos utilizando redes neuronales

Actividad	VYD	CP	C	MI	CC
Valoración y diagnóstico (VYD)	58.75	12.50	15.00	8.75	0.00
Cuidados al paciente (CP)	9.09	67.27	18.18	3.64	0.00
Coordinación (C)	12.50	5.00	67.50	15.00	0.00
Manejo de información (MI)	7.50	2.50	15.00	73.75	0.00
Clases y capacitación (CC)	9.09	0.00	18.18	0.00	72.73

Entrenamiento 150, prueba 80, pct. Error. 33%

La Tabla XIII presenta la matriz de confusión de las actividades ejecutadas por los médicos de base con un porcentaje de error promedio de 28.75%. La actividad que corresponde a

cuidados al paciente es la actividad estimada con mejor precisión (78.75%), seguida por coordinación con 72.50% y manejo de información con 70%.

Tabla XIII. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por los médicos de base utilizando redes neuronales

Actividad	VYD	CP	C	MI
Valoración y diagnóstico (VYD)	63.75	10.00	12.50	13.75
Cuidados al paciente (CP)	2.50	78.75	13.75	5.00
Coordinación (C)	11.25	5.00	72.50	11.25
Manejo de información (MI)	11.25	7.25	12.50	70.00

Entrenamiento 150, prueba 80, pct. Error. 28.75

Analizando la información por rol, se pueden ver diferencias en la precisión con la que algunas actividades se estiman. Por ejemplo, para la enfermeras, la actividad de cuidados al paciente se estimó correctamente 77.50% de la veces; para internos 67.27% y para médicos de base 78.75%. En ese caso, Se observa que el nivel de fragmentación experimentado por cada rol afecta la manera en que estas actividades se estiman. Por ejemplo, como se muestra en la Tabla XIII, la actividad cuidados al paciente se confundió con coordinación 13.75% de las veces. Esto es por que ambas actividades se ejecutan generalmente en la sala de atención, utilizando los mismos artefactos y colaborando con las mismas personas. Además, es claro que la precisión en la estimación de las actividades de los médicos internos es menor que la precisión obtenida por los médicos de base y a su vez que las enfermeras. Esto es por que las enfermeras utilizan más artefactos que los médicos permitiendo a la red neuronal tener un mejor punto de comparación. Por ejemplo, mientras los médicos e internos generalmente utilizan el expediente médico y resultados de estudios, las enfermeras además de estos artefactos también utilizan hojas de enfermería y material de curación. Por otro lado, las enfermeras generalmente ejecutan sus actividades solas –a excepción de aquellas actividades cuya naturaleza es colaborativa. Entonces son algunas actividades que presentan estas excepciones a diferencias de los médicos cuyas actividades suelen ser colaborativas. El tener esta amplia gama del uso de artefactos y personas para el rol de las enfermeras mejora la precisión con la que sus actividades se estiman.

Es por ello, que las actividades que tienen características similares se estiman con una precisión menor a aquéllas cuya información contextual (i.e., localización, artefactos utilizados, personas involucradas y hora del día) difiere. Por ejemplo, como se ilustra en la Tabla XIII, la red neuronal estimó incorrectamente la actividad de valoración y diagnóstico 36.25% de las veces confundiéndola con manejo de documentos (13.75%) y coordinación (12.50%). Se observa que, por periodos cortos de tiempo, los médicos internos y los médicos de base cambian constantemente entre estas actividades. En estos casos, la red no tiene suficiente evidencia para diferenciarlas, ya que la información contextual (del usuario y del ambiente) no cambia en este periodo. Sin embargo, se pueden diferenciar estas actividades mediante la identificación de atributos particulares de cada actividad –como su duración. Es por ello que se decidió crear estrategias que toman en cuenta estos atributos con el fin de incrementar la precisión en la estimación.

Estrategias para incrementar la precisión

El enfoque utilizado para identificar la actividad estimada consiste en seleccionar aquella actividad con el valor en su unidad de salida más alto. Algunas veces seleccionar el valor más alto no provee evidencia suficiente para asegurar que la actividad seleccionada es la que se está ejecutando; es decir, se tenía alta incertidumbre en la estimación. Estas actividades estimadas con cierto nivel de incertidumbre las llamamos *Actividades Inciertamente Estimadas (AIE)*.

Con el fin de mejorar la precisión y tomar una decisión cuando se detectará una AIE, analizamos las características de estas actividades para identificar nuevas estrategias que permitieran reducir este grado de incertidumbre en la estimación. Comparando estas AIE con las actividades reales, se encontró que éstas actividades presentan un fenómeno recurrente; es decir, que la probabilidad de seguir ejecutando esta misma actividad es mayor a cambiar a ejecutar otra. Por ejemplo, los médicos ejecutan la actividad de valoración y diagnóstico por 10 o 15 minutos (aproximadamente), entonces es muy probable que después de un tiempo ellos continúen realizando esta misma actividad en lugar de cambiar a otra. Entonces, si la red neuronal estima que después de valorar a un paciente, un médico empieza a documentar información (con un grado de incertidumbre)

es muy probable que esta estimación sea inexacta. Esto se puede detectar comparando los valores actuales para cada estimación. Si uno de los valores que corresponde a la actividad de administración de información tiene un valor mayor pero es cercano a la actividad de cuidados al paciente, sería más seguro asumir que la actividad ejecutada no ha cambiado. Tomando en cuenta la duración de una AIE, se tiene una probabilidad mayor de que el personal médico continúe ejecutando esta AIE en lugar de cambiar a ejecutar otra. Llamamos a este fenómeno el *principio de recurrencia*.

Para enfrentar estos problemas, primero identificamos las AIEs y tomando en cuenta su duración aplicamos el principio de recurrencia. Se utilizaron dos estrategias para identificar estas AIE. La primera estrategia requiere que se identifiquen aquellas actividades cuyas unidades de salida sean menores a 0.55. Las actividades con estas unidades de salida no proporcionan evidencia contundente que soporte que ésta es la actividad que se está ejecutando –no existe una salida dominante. De la misma manera, existe incertidumbre o confusión cuando dos unidades de salida tienen valores similares o cercanos uno del otro (e.g., dos actividades dominantes con valores de 0.70 y 0.67). En este caso se calculó la diferencia entre estos valores en las unidades de salida y si dicha diferencia es menor a 0.12 la actividad estimada es considerada una AIE.

Una vez que se identificaron las AIE, se seleccionaron aquellas que representan un fenómeno recurrente calculando para cada actividad el tiempo de duración promedio. Aunque, algunas actividades presentan este fenómeno de recurrencia por su naturaleza (como clases y capacitación o valoración y diagnóstico), el nivel de recurrencia para cada actividad también depende del rol que la ejecuta. Por ejemplo, mientras los internos o médicos ejecutan la actividad de manejo de información por periodos largos de tiempo, las enfermeras generalmente ejecutan esta actividad alternada con cuidados al paciente, reduciendo su duración promedio. Las actividades que presentan un fenómeno recurrente, además de valoración y diagnóstico y clases y capacitación, para enfermeras son coordinación y preparación de medicinas y para internos es manejo de documentos. Una vez aplicado el principio de recurrencia a las AIE identificadas, el error en la estimación se redujo en aproximadamente 5%.

En función a este análisis fue claro para nosotros que tomar información pasada y probabilidades de transición de una actividad a otra podría incrementar la precisión en la estimación. Por ello y con el fin de incrementar la precisión en la estimación, se decidió utilizar otros algoritmos de reconocimiento de patrones que toman en cuenta esta información para realizar la inferencia. Los algoritmos de esta clase más conocidos son los modelos ocultos de Markov.

IV.3. Cadenas de Markov para estimar actividades

Con el fin de mejorar los resultados que se obtuvieron con el uso de redes neuronales para la estimación de actividad, en esta sección se discute el uso de cadenas de Markov (Sanchez *et. al.*, 2007; Sanchez *et. al.*, 2008). Primero se presenta un análisis para identificar la información contextual relevante para el reconocimiento de actividades. Posteriormente, se presenta la manera en que los datos fueron representados para entrenar para probar el modelo. Enseguida se presentan dos modelos de Markov diseñados para estimar la actividad del usuario. Finalmente, se presentan la discusión de los resultados.

IV.3.1. Información contextual relevante para la inferencia

Se identificó que algunas de las variables utilizadas como entradas para entrenar la red no eran relevantes para la estimación de la actividad –por lo contrario en algunos casos el utilizarlas reducía la precisión. Es por ello, que se realizó un análisis más detallado para establecer que información era relevante para estimar la actividad utilizando modelos ocultos de Markov –hidden Markov model (HMM) por sus siglas en inglés. Este análisis requirió conducir varios experimentos con diferentes configuraciones de la información contextual utilizada para la estimación de actividad.

Análisis de sensibilidad para identificar la información contextual necesaria como entrada al algoritmo de reconocimiento de actividad

El análisis de sensibilidad involucró estudiar el impacto que tienen cada una de las variables utilizadas en el vector de entrada en la precisión del reconocimiento de actividad.

La primera variable en ser analizada fue la hora del día. Una cadena de Markov se basa en eventos discretos, por lo que no es apropiado utilizar la hora del día para la estimación. Al realizar diferentes experimentos utilizando únicamente la hora del día como entrada para el reconocimiento de actividad, se obtuvo una reducción del 15% en la precisión. Esto puede ser parcialmente explicado ya que el trabajo hospitalario es altamente dinámico y las actividades no se ejecutan a una hora predefinida del día. Basados en estos resultados se decidió eliminar esta variable contextual del vector de entrada.

Otros experimentos se ejecutaron tomando en cuenta la información contextual restante de manera separada –incluyendo la localización, artefactos utilizados y personas involucradas. La Figura 19 muestra el error promedio resultante.

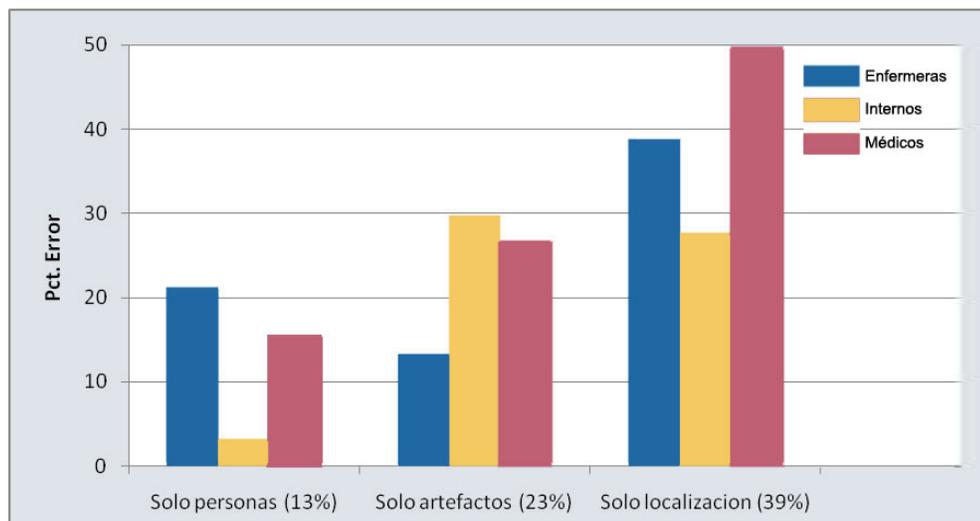


Figura 19. Porcentaje de error en el reconocimiento de actividad utilizando solamente información una variable contextual en la HMM

Como se ilustra en la figura, la variable de localización tiene el porcentaje de error más alto, 38% (en promedio), seguido del obtenido utilizando solo artefactos (23%) y finalmente, solo personas (13%). Esto puede ser parcialmente explicado ya que las actividades ejecutadas por el personal médico son en alta medida independientes de la localización del individuo que las ejecuta. Por ejemplo, las actividades relacionadas con un paciente (i.e., coordinación, cuidados al paciente, valoración y diagnóstico y preparación) se ejecutan normalmente en frente del paciente independientemente de la naturaleza de la actividad. Es por ello, que incluir esta información para entrenar el modelo puede

incrementar confusión y por consiguiente reducir la precisión en el reconocimiento de la actividad.

En base a estos resultados, se decidió eliminar la hora del día y la localización del vector de entrada utilizado para entrenar la HMM. Adicionalmente, este análisis nos dejó ver que utilizar la información de manera separada para entrenar el modelo incrementa la precisión en la estimación. Por lo que, se decidió crear un modelo HMM en capas para aislar esta información.

Análisis de ocurrencia sobre los valores de las variables contextuales

Otro problema que encontramos al momento de crear el vector de entrada para el HMM fue su longitud. Si bien se tienen cuatro variables contextuales de entrada, el utilizar una codificación binaria para las variables de artefactos y personas incrementa este campo por el número de valores que pueda tomar, resultando en 36 unidades de entrada en total. Debido a que el modelo HMM utiliza matrices no es posible en la práctica manejar tantas unidades.

Con el fin de identificar las variables más relevantes para cada una de las actividades y reducir estos valores de entrada se realizó un análisis de frecuencia. Este análisis consistió en medir la moda de aparición para cada uno de los artefactos y agentes en cada una de las actividades. Si una variable aparecía menos de 20 veces por actividad, está era eliminada del HMM de ese rol. Por ejemplo, la variable de equipo de cómputo sólo aparece 5 veces para las enfermeras por lo tanto dicha variable se eliminó del vector de entrada. Además de este criterio otras variables se agruparon en una clasificación mayor. Por ejemplo, los médicos internos y los médicos de base se agruparon en la variable médicos.

Después de realizar la reducción, se realizaron diferentes pruebas para verificar que esta reducción no afecta la precisión en la estimación de actividad –estas pruebas se realizaron con las redes neuronales. La Figura 20 muestra el promedio de la aparición de todas las variables por actividad. El vector MAX contiene el promedio de ocurrencia de todas las variables capturadas durante la estudio. El vector INICIAL contiene el promedio de ocurrencia de las variables utilizadas como entradas para las redes neuronales. El vector CROP contiene el promedio de ocurrencia de las variables reducidas. Lo que buscábamos

aquí era encontrar una configuración que permitiera al nuevo vector mantenerse entre el vector INICIAL y el vector MAX y a la vez manteniendo el mismo comportamiento. Como se muestra en la figura, el nuevo vector cumple con estas características e inclusive mejora el promedio de ocurrencia para la actividad de clases y capacitación. Después de este análisis logramos reducir el vector de entrada en un 57% (en promedio) –59% para enfermeras, 63% para médicos internos y 48% para médicos de base.

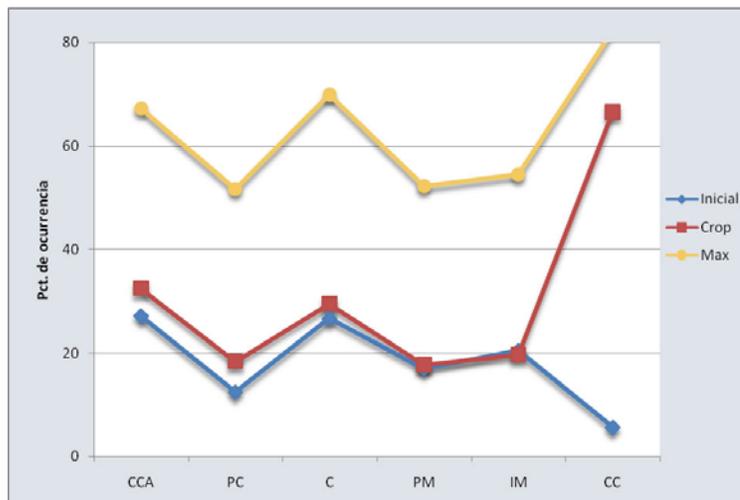


Figura 20. Promedio de ocurrencia de las variables contextuales en el vector de entrada

La relevancia de cada variable contextual se corroboró al realizar diferentes estimaciones con las NN utilizando el vector de entrada reducido y comparando los resultados con aquéllos realizados originalmente. Los resultados de la nueva estimación indicaron que la actividad del usuario se pudo estimar correctamente 71% de la veces. Dado que no hubo una gran diferencia entre la precisión en la estimación de actividad para ambos vectores se concluye que esta reducción tendría un efecto menor o no afectaría los experimentos realizados con HMM.

IV.3.2. Representación de los datos

Una vez que se tenía un claro entendimiento de la información contextual y las variables relevantes para modelar las actividades ejecutadas por el personal médico, se prepararon las muestras obtenidas del caso de estudio para realizar diferentes simulaciones con HMM.

Similarmente a la transformación realizada con NN, se utilizó el esquema del estudio para codificar el reporte de observación y el esquema de la red para transformar estos códigos a valores vectoriales. La Figura 18 muestra ambos esquemas e ilustra cómo se realiza esta transformación de información cualitativa a etiquetas y de etiquetas a datos de un vector. La figura también muestra que el modelo de Markov utiliza como entrada únicamente la información de artefactos y personas, un vector de prioridad y una matriz de transición de estados –a diferencia de las redes neuronales.

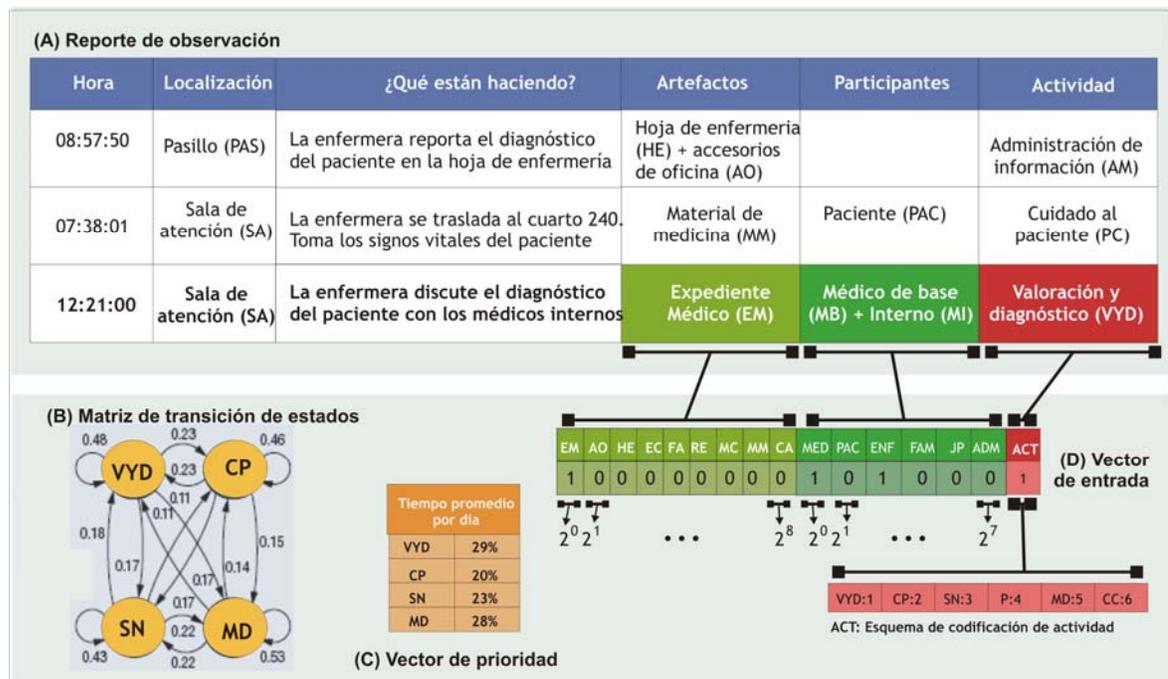


Figura 21. Transformación del reporte de observación a entradas y salidas al modelo oculto de Markov (a) Reporte de observación (b) Vector de entrada al HMM

El *vector de prioridad* (i.e., el estado inicial de la distribución) representa la prioridad de ejecutar una actividad sobre el resto de las demás. Este vector puede verse como el porcentaje del tiempo que el personal médico invierte ejecutando diferentes tipos de actividades. Para calcular este vector se mide el tiempo total (por día por sujeto) que el personal médico invierte en las actividades a ser estimadas. La Figura 21c muestra el vector de prioridad de un médico de base. Como se muestra la actividad predominante ejecutada por los médicos es valoración y diagnóstico, mientras para internos es manejo de información y para enfermeras preparación.

Similarmente, la *matriz de transición* se calculó a partir de la información obtenida del estudio. La *matriz de transición de estados* contiene las probabilidades de estar realizando una actividad o estar en un estado q_i y pasar a otro estado q_j . La Figura 21b muestra un grafo de las transiciones de la ejecución de una actividad a otra por un médico de base.

IV.3.3. Definición de un modelo de Markov en capas

Para estimar las actividades ejecutadas por el personal médico, se desarrollaron dos variantes del modelo HMM en capas propuesto en (Oliver *et. al.*, 2004) –ver Figura 22 y Figura 23.

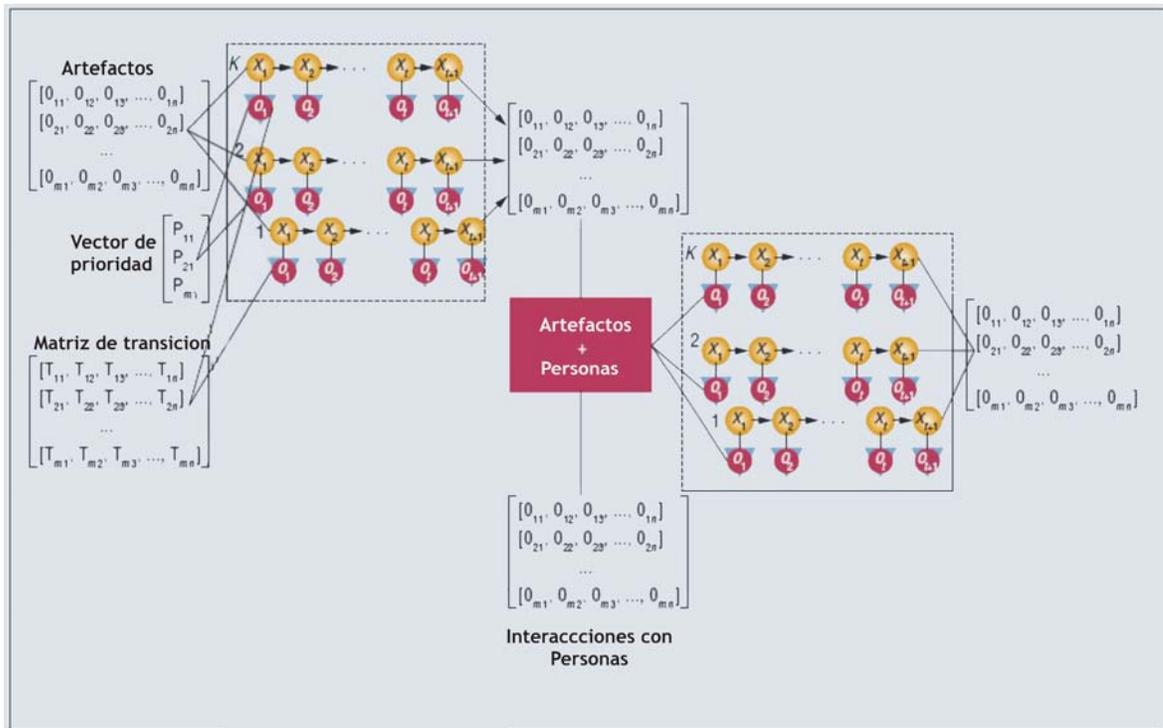


Figura 22. Modelo simple en capas de dos niveles

Un modelo simple en capas de dos niveles

La Figura 22 muestra un modelo simple de dos niveles en capas. El primer nivel (i.e., el nivel inferior) es un HMM entrenado que utiliza como entradas, un vector de prioridad, la matriz de transición de estados y la matriz de los artefactos utilizados en una actividad. La matriz de las personas involucradas en la actividad y la salida del modelo de este primer

nivel se fusionaron para crear una *matriz de salida compuesta*. Esta matriz de salida compuesta se usa para alimentar el segundo nivel (i.e., capa superior). En este nivel es entonces donde se mapea esta información a actividades. Los resultados de esta variante presentan un porcentaje de error promedio de 6.08% para estimar la actividad.

Un modelo paralelo en capas

La Figura 23 ilustra un modelo paralelo de dos niveles en capas. El primer nivel de este modelo esta compuesto de dos HMM entrenadas en paralelo.

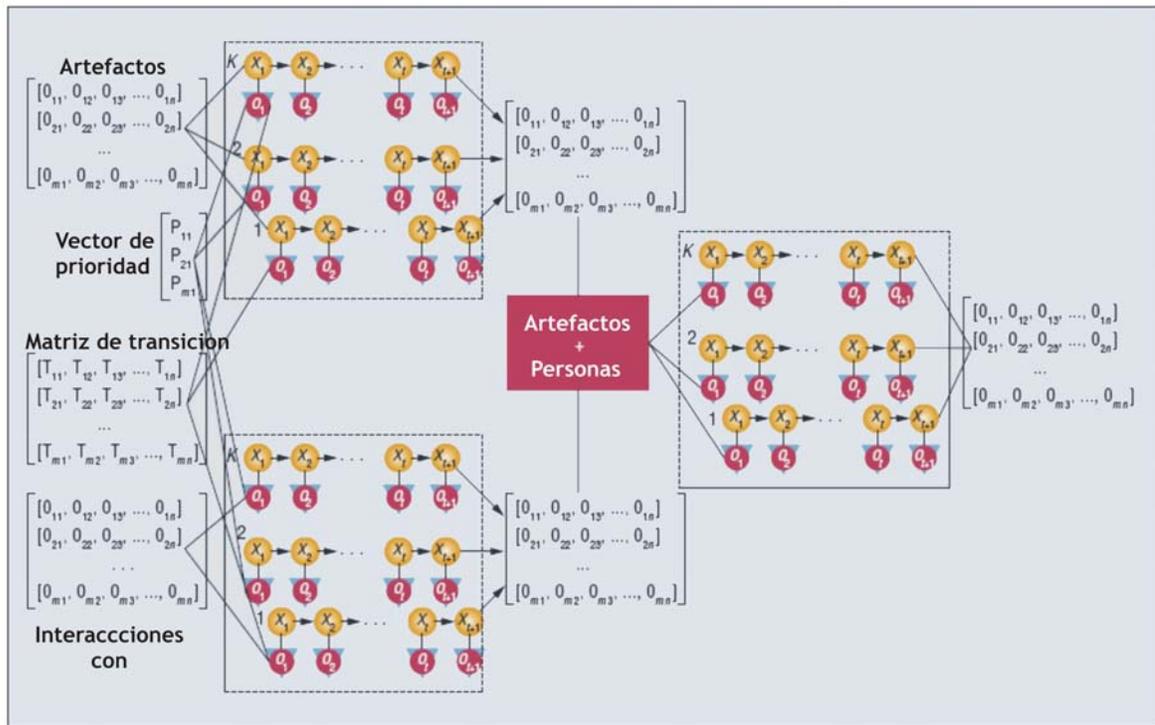


Figura 23. Modelo paralelo capas de dos niveles

La diferencia entre estos dos modelos radica en la información contextual utilizada como entrada. Para el primer modelo se utiliza la matriz de artefactos y para el segundo se utiliza la matriz de las personas involucradas en la actividad. Las salidas de ambos modelos se fusionaron después para crear la *matriz de salida compuesta*. Esta matriz se utiliza como entrada al segundo nivel (i.e., capa superior), el cual es otro HMM. En este último nivel se hace la transformación de los datos de entrada a la actividad. Los resultados de esta

variante fueron mejores que la anterior y se discuten a mayor detalle en la siguiente sección.

IV.3.4. Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados de nuestra solución comparando el porcentaje de error de los dos modelos. Además se presenta cómo una prueba de robustez aplicada a nuestro modelo revela que este modelo es estable y que el error acarreado en la estimación de contexto primario no tendrá un impacto mayor en el reconocimiento de las actividades.

Comparación de modelos

La Tabla XIV muestra el error en la estimación de actividad para cada rol. Los resultados del modelo paralelo en capas presentan un error promedio en la estimación de actividad del 7.4%. En general, el porcentaje de error en el reconocimiento de la actividad es menor utilizando el modelo paralelo que el simple. Esto se explica porque el modelo paralelo captura diferentes niveles de abstracción de los datos y aprovecha el esquema de “divide y vencerás”, donde una cadena de Markov de la primera capa se utiliza para entrenar cada variable.

Tabla XIV. Porcentaje de error para la estimación de actividad por rol utilizando los dos modelos de Markov

Modelo 2-Niveles	Enfermeras	Médicos de base	Internos	Promedio
Simple en capas	8.32%	16.25%	29.42%	18.0%
Paralelo en capas	6.08%	7.92%	8.17%	7.4%

Matrices de confusión por rol

La Tabla XV indica la matriz de confusión de las actividades realizadas por enfermeras con un porcentaje promedio de error de 6.09%. Como se muestra en la Tabla, la actividad que mejor se estimó es clases y capacitación con 100%, seguida de preparación 98.75% y finalmente coordinación con 98.75%. Es interesante notar que la actividad de clases y capacitación se estimó con ese nivel de precisión ya que la configuración del vector de entrada no es un patrón que se vuelva a presentar para otra actividad. Mientras que la actividad peor estimada (i.e., cuidados al paciente) se confunde con la actividad de

valoración y diagnóstico ya que los artefactos y las personas involucrados son generalmente los mismos.

Tabla XV. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por las enfermeras utilizando el modelo paralelo en capas de dos niveles

A-ID	VYD	CP	C	PM	MI	CC
Valoración y diagnóstico (VYD)	91.25	0.00	8.75	0.00	0.00	0.00
Cuidados al paciente (CP)	16.25	83.75	0.00	0.00	0.00	0.00
Coordinación (C)	0.00	1.67	98.33	0.00	10.00	0.00
Preparación de medicamentos (PM)	0.00	0.00	1.25	98.75	0.00	0.00
Manejo de información (MI)	2.86	0.00	0.00	5.71	91.43	0.00
Clases y capacitación (CC)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100

Entrenamiento 150, prueba 80, pct. Error. 6.08%

La Tabla XVI muestra la matriz de confusión para las actividades realizadas por los médicos de base con un porcentaje de error de 3.25%. Como se muestra, la actividad mejor estimada es coordinación (100%), seguida de valoración y diagnóstico (98.75%) y cuidados al paciente (96.67%). Esta precisión en coordinación es parcialmente explicada ya que la naturaleza de la coordinación que realizan los médicos es muy diferente a las otras actividades.

Tabla XVI. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por los médicos de base utilizando el modelo paralelo en capas de dos niveles

A-ID	VYD	CP	C	MI
Valoración y diagnóstico (VYD)	96.67	1.67	1.67	0.00
Cuidados al paciente (CP)	0.00	96.67	3.33	0.00
Coordinación (C)	0.00	0.00	88.33	11.67
Manejo de información (MI)	0.00	3.33	10.00	86.67

Entrenamiento 150, prueba 80, pct. Error. 7.92%

Finalmente, la Tabla XVII presenta la matriz de confusión para las actividades realizadas por los médicos internos. Como se muestra el porcentaje de error es de 7.91% y la actividad mejor estimada (i.e., valoración y diagnóstico) tiene una precisión de 96.67% muy parecida a la precisión de coordinación 96.66%. Se puede observar que la actividad de coordinación se confunde 11.66% de la veces con manejo de documentos y existe una

simetría con la actividad de manejo de documentos que la confunde 10% de la veces con coordinación.

Tabla XVII. Matriz de confusión para la estimación de actividades ejecutadas por los médicos internos utilizando el modelo paralelo en capas de dos niveles

A-ID	VYD	CP	C	MI	CC
Valoración y diagnóstico (VYD)	98.75	1.25	0.00	0.00	0.00
Cuidados al paciente (CP)	3.33	96.67	0.00	0.00	0.00
Coordinación (C)	0.00	0.00	100	0.00	0.00
Manejo de información (MI)	0.00	0.00	26.50	73.75	0.00
Clases y capacitación (CC)	0.00	0.00	0.00	10.00	90.00

Entrenamiento 150, prueba 80, pct. Error. 3.25%

IV.3.5. Estimación de las actividades de las rutinas del cuidado diario

Las actividades que forman parte de las rutinas de cuidado diario también se estimaron. La Figura 24 muestra los resultados de la estimación comparando las NN con el HMM.

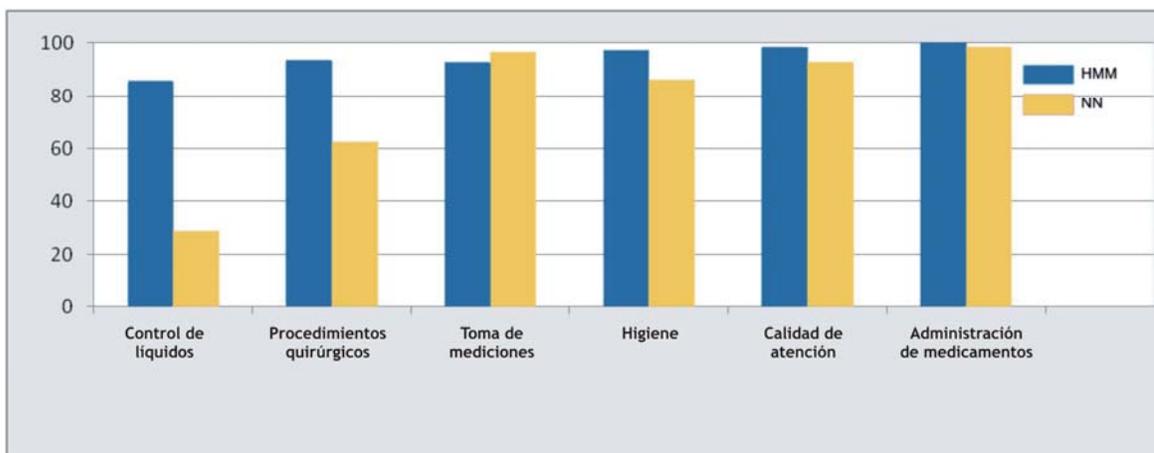


Figura 24. Comparando la precisión del reconocimiento de las actividades que forman las rutinas del cuidado diario realizadas por HMMs y redes neuronales

Como se ilustra en la figura, la actividad con mayor precisión es la actividad de administración de medicamentos (100%) y calidad de atención (98.55%), mientras que la actividad con más baja precisión corresponde a la actividad de control de líquidos (85.71%). En este caso únicamente para la actividad de toma de signos vitales vemos que la red neuronal es ligeramente superior al modelo de Markov. Esto en parte se debe por

que el modelo de Markov no toma como entrada la localización de las personas y particularmente para la actividad de toma de signos vitales esta información es relevante. Sin embargo, se realizaron algunas pruebas para incluir la localización para las demás actividades y la precisión bajo considerablemente.

IV.3.6. Prueba de robustez

Ambos enfoques (i.e., reconocimiento de actividad con NN y HMM) asumen que el contexto primario utilizado como entrada (e.g., los artefactos utilizados) es preciso.

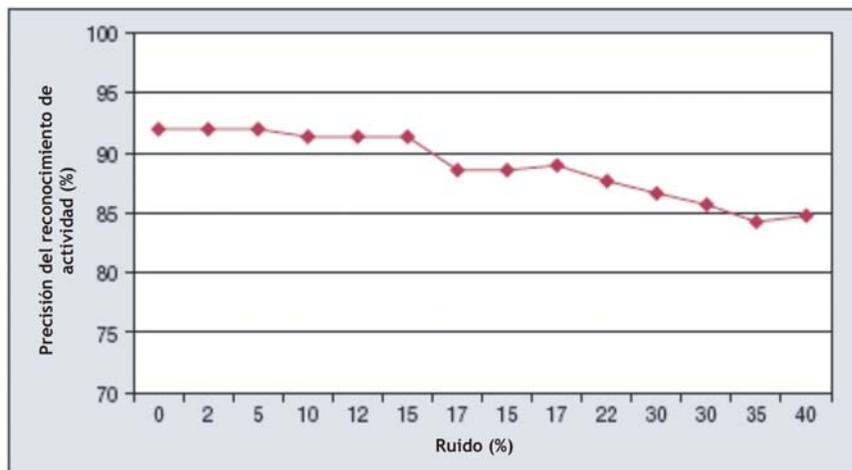


Figura 25. Precisión de reconocimiento de actividad utilizando ruido en el vector de entrada

Sin embargo, en la práctica, estas entradas se estiman a través de otros métodos propensos a errores. Para validar nuestros resultados tomando en cuenta este problema, probamos la robustez de nuestro modelo introduciendo ruido en la matriz de entrada (i.e., en las matrices de los artefactos utilizados y de las personas involucradas). Para introducir este error se generó una función de ruido. Esta función consiste en sustituir aleatoriamente un valor de cada vector en la matriz de entrada, por actividad. Ya que se utilizó una codificación binaria para crear esta matriz, la transformación consistió en cambiar un valor de uno a cero o viceversa. Por ejemplo, si se quiere estimar la actividad de Juan cuando éste está interactuando con Rita y no se pudiera leer la presencia de Rita, el vector de entrada que representa las personas con las que Juan está interactuando sería incorrecto. Para representar este error, se sustituyó el tercer valor del vector de entrada de 10101000

→^s01010000. (Se utilizó el mismo criterio para transformar la matriz de entrada que representa los artefactos utilizados). Se realizaron diferentes experimentos, cambiando el porcentaje de ruido incluido por actividad. Como se muestra en la Figura 25, el modelo para estimar la actividad permaneció estable y superior al 80% -inclusive cuando el error de entrada era del 40%. Esto da evidencia de que el algoritmo es robusto y estable ante la presencia de errores en la captura del contexto primario.

IV.4. Prueba con humanos expertos

Con el fin de evaluar la dificultad de estimar las actividades del personal médico y establecer una base importante para comparar nuestra solución, se realizaron un experimento para determinar como las personas (familiarizadas con el trabajo en hospitales) estiman las actividades en base a información contextual. El experimento consistió en que seis individuos estimarán la actividad utilizando información contextual correspondiente al vector de entrada utilizado por los algoritmos de reconocimiento de patrones (i.e., rol, localización, hora del día, artefactos utilizados y las personas involucradas). Y después evaluar la precisión con la que los usuarios fueron capaces de inferir estas actividades.

Seis informantes participaron en este experimento: cuatro investigadores y dos médicos internos. Los investigadores fueron los que siguieron al personal médico durante el caso de estudio completando 80 horas de observación (en promedio). Es por ello, que estos investigadores estaban familiarizados con el trabajo en hospitales y con el esquema de codificación utilizado para codificar los reportes de observación. Para crear el conjunto de datos para la prueba se tomó por cada actividad una cantidad de muestras proporcionales a las utilizadas para probar los algoritmos de reconocimiento de patrones –utilizando un total de 120 muestras (40 por rol). Este conjunto de pruebas se presentó en un reporte de prueba –similar al reporte de observación utilizado para digitalizar la información capturada de manera manual durante el estudio. Se pidió a cada participante inferir la actividad situándose en el rol indicado en el reporte de prueba y basándose en la información contextual proporcionada por el reporte –esta información contextual incluía el rol, la

ubicación, artefactos involucrados, personas involucradas y la hora del día. Por ejemplo, una muestra del reporte de prueba le indica al participante que: (1) es un médico de base, (2) son las doce del día, (3) se encuentra en la sala de atención, (4) está interactuando con internos y (4) está utilizando el expediente médico y la hoja de enfermería. De cinco posibles repuestas –que corresponden a las actividades a ser estimadas como valoración y diagnóstico, cuidados al paciente, coordinación, etcétera-, el participante debía elegir la actividad que creía se estaba ejecutando.

La Tabla XVIII muestra la matriz de confusión de las actividades inferidas por los humanos expertos con un porcentaje de error promedio de 48.05% –estos resultados incluyen solo la prueba para las actividades ejecutadas por las enfermeras.

Tabla XVIII Matriz de estimaciones realizadas por los observadores expertos para la estimación de actividades ejecutadas por las enfermeras

A-ID	CCA	PC	C	PM	IM	CC
Valoración y diagnóstico (VYD)	15.00	27.50	20.00	5.00	32.50	0.00
Cuidados al paciente (CP)	2.50	67.50	10.00	17.50	2.50	0.00
Coordinación (C)	20.00	25.00	50.00	0.00	2.50	2.50
Preparación de medicamentos (PM)	2.50	12.50	17.50	62.50	5.00	0.00
Manejo de información (MI)	16.00	0.00	0.00	0.00	84.00	0.00
Clases y capacitación (CC)	6.67	13.33	40.00	13.33	0.00	26.67

Prueba 40, pct. Error. 48.05%

Como ilustra la tabla, la actividad que corresponde a manejo de información es la actividad estimada con mayor precisión (86.67%), seguida de cuidados al paciente (66.67%). Mientras que la actividad de valoración y diagnóstico es la que presenta mayor porcentaje de error con una precisión del 15%. Es importante notar que los errores cometidos por los investigadores no son al azar. Estos errores se encuentran influenciados por la evidencia utilizada para inferir las actividades del personal médico. Por ejemplo, si un usuario está utilizando accesorios de oficina, es obvio que la actividad que se está ejecutando es manejo de información, o si el usuario está utilizando equipo médico la actividad inferida será cuidados al paciente. Entonces algunas variables contextuales son altamente dominantes y los observadores expertos tendrían a tomar su decisión en base a esta información dominante en lugar de considerar la información contextual proporcionada como un todo.

Los participantes pudieron estimar correctamente las actividades 48.82% de las veces en promedio. Ellos fueron más precisos al estimar las actividades de la enfermeras (51.95%), seguidos por las actividades ejecutadas por los médicos de base (47%) y finalmente por las ejecutadas por los médicos internos (47%). Esto puede ser parcialmente explicado ya que la diferencia entre la evidencia utilizada para estimar la actividad depende del rol que ejecuta dicha actividad. Por ejemplo, para las enfermeras, las tareas relacionadas con los cuidados al paciente frecuentemente involucraron el uso de equipo médico y la presencia del paciente; mientras que la de los internos y médicos de base involucran el uso de artefactos médicos de información como expediente médico. Sin embargo, los médicos e internos frecuentemente utilizan también estos artefactos médicos de información para valorar la condición de un paciente.

IV.5. Resumen y discusión

En este capítulo se presentan dos métodos para estimar la actividad de trabajadores hospitalarios. Esta solución se basa en la información obtenida durante el caso de estudio, en dónde se capturaron 196 horas de observación detallada. Esta información capturada se utiliza para entrenar y probar algoritmos de reconocimiento de patrones. Nuestros resultados muestran que el 98% de las veces nuestro algoritmos de reconocimiento estima correctamente las actividades ejecutadas por el personal médico (en promedio).

La Figura 26 compara la precisión del reconocimiento de actividad utilizando HMMs, NNs y humanos expertos. Como se muestra en la figura, los HMM muestran un mejor desempeño que los otros dos métodos, seguidos de redes neuronales. Comparando únicamente los resultados de las redes y los HMM se logró reducir el error en un 75.15%.

Conocer la actividad que un usuario está ejecutando, es información que se puede utilizar para inferir otro tipo de contexto, como la disponibilidad de un usuario. Por ejemplo, cuando el personal médico está realizando valoración y diagnóstico, cuidados al paciente, clases y capacitación e inclusive preparación, ellos generalmente, no desean ser interrumpidos. Repetidamente se observó que el personal médico, especialmente internos, esperan a que el médico termine de discutir con otro para abordarlos. En contraste, cuando el personal médico esta realizando otras actividades, como manejo de información o

coordinación, el nivel de interruptibilidad es más alto. Entonces, se decidió agrupar las actividades basados en la disponibilidad percibida por el personal médico. Las actividades donde el médico no está disponible son aquellas explícitamente relacionadas con el cuidado del paciente. Estas actividades incluyen valoración y diagnóstico, cuidados al paciente, clases y capacitación y preparación. Mientras que las otras actividades como manejo de información y coordinación son aquellas con un alto nivel de interruptibilidad.

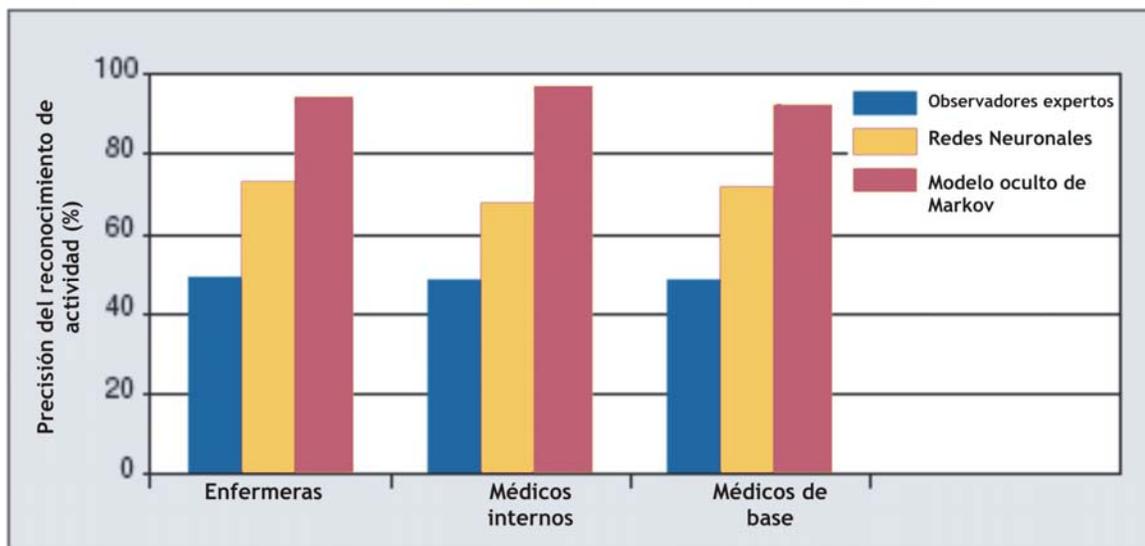


Figura 26. Comparando la precisión del reconocimiento de actividad por HMMs, redes neuronales y observadores expertos

La Tabla XIX presenta la matriz de confusión para los resultados de la estimación de actividad, agrupados en función al nivel de disponibilidad del usuario. Los renglones en la matriz corresponden a los valores de las actividades ejecutadas por el personal médico cuando el usuario está disponible (D) o no lo está (ND), y las columnas corresponden a los valores estimados por el algoritmo. Los valores en la diagonal son casos donde el algoritmo estimó correctamente la disponibilidad del usuario en función a la actividad ejecutada, mientras que el resto de los valores representa las veces en que el algoritmo falló en la estimación confundiendo dicha actividad con otra. El porcentaje de error se calculó sumando los valores que no se encuentran en la diagonal y el resultado, se divió después entre el total de las muestras utilizadas para probar el algoritmo. La Tabla XIX muestra que la precisión oscila entre 70-90%.

Tabla XIX. Matriz de confusión para la estimación de la disponibilidad de los trabajadores hospitalarios utilizando modelos ocultos de Markov

	Enfermeras		Internos		Médicos	
	ND	D	ND	D	ND	D
No disponible (ND)	89.58	10.41	76.59	23.40	90	10
Disponible (D)	20.61	79.38	13.83	86.16	29.11	70.88

Error: enfermeras 14.01%, internos 18.33%, médicos 14.73%

La técnica utilizada para la captura de la información requiere un extenso estudio de campo, sin embargo, se puede realizar un estudio más pequeño para entrenar y probar los algoritmos en otros ambientes. Además, aplicar esta metodología *in situ* puede informar el diseño de nuevos métodos que reduzcan el esfuerzo realizado por los investigadores en la recolección de la información.

También, implementar nuestra solución en un ambiente real (como el hospital) requiere la implantación de tecnología que permita inferir la ubicación de personas y los artefactos utilizados –información que el clasificador requiere para estimar la actividad del usuario. Sin embargo, algunas de estas tecnologías han sido gradualmente implantadas en ambientes hospitalarios. Una vez que esta información contextual este disponible, la estimación de la actividad puede realizarse en tiempo real. De hecho, el reto aquí será idear una interfaz apropiada para no molestar al usuario con cambios repentinos en el sistema.

A pesar de que se realizaron diferentes trabajos para estimar actividades con un nivel de abstracción menor, como si un usuario está caminando, sentado (Philipose *et. al.*, 2004) o masticando (Bian *et. al.*, 2004) esta información no es suficiente para informar a una aplicación contextual como adaptar su comportamiento para apoyar el trabajo ejecutado por el personal médico. Nuestra solución a diferencia de éstas (y muchas otras reportadas en la literatura) permite estimar actividades con un nivel de abstracción mayor –si un médico se encuentra valorando a un paciente, por ejemplo, conocer estas actividades permite desarrollar aplicaciones contextuales que muestren información relevante dependiendo de la tarea que se ejecuta. En los siguientes capítulos se discute el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad que basan su funcionamiento en el reconocimiento de las actividades descritas en este capítulo.

Capítulo V

Diseño de aplicaciones conscientes de la actividad

En este capítulo se presentan un conjunto de herramientas para el diseño e implementación de aplicaciones conscientes de la actividad. Primero, se muestran tres escenarios de uso que ilustran la aplicabilidad y factibilidad de las aplicaciones conscientes de la actividad en hospitales. Después se describen un conjunto de principios básicos que debe contener una aplicación consciente de la actividad. Enseguida, se discuten los requerimientos para el diseño de una infraestructura en apoyo a la creación y evolución de aplicaciones consciente de la actividad –Activity-aware anaTomy for ubicoMp (AToM). Finalmente, se discute cómo esta infraestructura puede utilizarse para facilitar la implementación de aplicaciones conscientes de la actividad.

V.1. Escenarios conscientes de la actividad para el cuidado médico

En esta sección se presentan tres escenarios de diseño que ilustran diferentes servicios que deben contener una aplicación consciente de la actividad. El primer escenario ilustra cómo una enfermera utiliza diferentes dispositivos conscientes de la actividad para monitorear la actividad ejecutada por los pacientes a su cargo. El segundo escenario muestra como una enfermera utiliza un asistente móvil para planear sus actividades y determinar cuál de ellas debe ejecutar en función a su relevancia –donde la relevancia dependerá de la actividad que ejecuta y aquella ejecutada por otros. Finalmente, el tercer escenario muestra cómo el personal médico utiliza historias de actividades para identificar las actividades realizadas y aquellas por realizar.

Escenario I: Cómputo consciente de la actividad para el monitoreo de las actividades ejecutadas por pacientes

El personal médico atiende a pacientes que están distribuidos en el hospital; por lo que, es difícil para ellos identificar que pacientes se deben monitorear cercanamente o estar

presentes cuando ocurre una emergencia. En muchos casos, el personal médico pierde la noción de los problemas asociados a sus pacientes debido a que no se tiene una proximidad física. Dado que el cómputo consciente de la actividad permite descubrir la actividad ejecutada por las personas y a su vez mostrar una representación de la misma; esta clase de tecnología permite establecer una conexión ambiental independiente de la localización de una persona. En las siguientes líneas se muestra un escenario de uso de un sistema consciente de la actividad que apoya a una enfermera en el monitoreo de las evacuaciones y control de líquidos de un paciente.

Pedro es un hombre de 56 años de edad con insuficiencia renal que acaba de tener un transplante de riñón. Rita la enfermera encargada de Pedro se percató que el médico de base, Dr. Pérez, cambió la medicina de Pedro a ciclosporina¹¹. Rita desea monitorear la reacción de Pedro al nuevo riñón transplantado y a la nueva medicina que se le está administrando. Para ello, Rita requiere monitorear los hábitos de orina y evacuación de Pedro –incluyendo cantidad y frecuencia.

Rita tiene en su celular un asistente móvil consciente de la actividad que le indica que una luz de su pulsera representa a Pedro. Ella utiliza su celular para programar los colores de las luces en su pulsera y así determinar cuándo Pedro está orinando. La pulsera y el asistente móvil actúan entonces como indicadores de emergencia; notificándole puntualmente a Rita, que un evento relevante está sucediendo con alguno de los pacientes a su cargo. Rita utiliza también su celular para consultar más información acerca del evento detectado por la pulsera. En función a esto, Rita toma una decisión acerca de dicho evento, ya sea ejecutando una acción para mitigar el problema o discutiendo el problema con un médico.

Escenario II: Cómputo consciente de la actividad para el seguimiento y guía de planes

Dado la carga de trabajo del personal médico, su intensa movilidad y la fragmentación en las actividades realizadas, es común para ellos olvidar importantes eventos relacionados con un paciente. Lo que el personal médico necesita, es un mecanismo que les permita

¹¹ Si bien esta medicina ayuda a los pacientes a mejorar su función renal en algunos casos puede destruir nuevos órganos transplantados

planear y administrar sus tareas, de acuerdo a las actividades ejecutadas por los pacientes y aquéllas realizadas por otras personas involucradas en el cuidado diario de pacientes. A continuación se muestra un escenario que ilustra como el cómputo consciente de la actividad permite a una enfermera planear y administrar de manera automática su rutina de cuidado diario.

La enfermera Rita inicia su turno consultando en su asistente móvil las actividades que tiene calendarizadas para ese día. El asistente móvil muestra las actividades correspondientes a las rutinas del cuidado. Mientras Rita calcula el balance de líquidos del paciente 228, el médico de base y los médicos internos llegan al cuarto 226 para valorar el paciente. El asistente móvil, consciente de la actividad ejecutada por los médicos, le notifica a Rita que una extracción de médula con dicho paciente está pendiente. Rita decide notificarle a los médicos del procedimiento por lo que se traslada al cuarto 226. Todos acuerdan iniciar el procedimiento. El asistente móvil recalendariza las actividades de Rita. Después de un tiempo considerable, Rita continúa apoyando a los médicos en el procedimiento; por lo que a la jefa de piso Carmen se le informa sobre el desfase de las actividades de Rita. Mientras Carmen consulta en una línea de tiempo las actividades ejecutadas por Rita decide transferir aquéllas desfasadas a otra enfermera disponible. Después de un tiempo, Rita termina el procedimiento y su asistente móvil le notifica las actividades que fueron recalendarizadas mostrándolas en una línea de tiempo.

Escenario III: Cómputo consciente de la actividad para la inferencia de acciones a partir de historias coherentes

El personal médico ejecuta múltiples actividades las cuales son altamente fragmentadas dado las constantes interrupciones y cambios en el contexto de trabajo –por ejemplo, si un paciente colapsa. Se ha reportado que los médicos en promedio pasan 1.5 minutos ejecutando la misma actividad antes de cambiar a otra (Moran *et. al.*, 2006). Es por ello que es difícil para el personal médico situarse en el contexto de la ejecución de una actividad después de una interrupción; peor aún, si se están ejecutando múltiples

actividades simultáneamente –como los médicos suelen hacer. En muchos de los casos los médicos deben invertir una cantidad considerable de tiempo en dicha recuperación de contexto. El cómputo consciente de la actividad permite la creación de historias de acciones diferenciando entre aquéllas previamente ejecutadas y aquéllas probables a ejecutarse; permitiendo así, enfrentar estos problemas. En el siguiente escenario se muestra como mediante la creación de historias se dirige a una enfermera y a un médico durante la ejecución de un procedimiento quirúrgico.

El especialista Dr. Díaz y la enfermera Lety preparan al paciente de la cama 222 para una extracción de médula. Mientras Lety prepara el equipo de curación necesario para el procedimiento, una pantalla ubicada en el cuarto del paciente muestra procedimientos similares –entre ellos otra extracción médula, inserción de catéter, etcétera. Estos procedimientos se muestran a través de una línea de tiempo de actividades. El Dr. Díaz selecciona de la pantalla la actividad computacional correspondiente a la extracción de médula ejecutada anteriormente con dicho paciente. La información se muestra revela que este paciente tuvo una reacción alérgica a la anestesia normalmente utilizada en el hospital. Por lo que, el Dr. Díaz le pide a Lety que utilice otro tipo de anestesia. Una vez que el Dr. Díaz inyecta al paciente, la pantalla presenta la guía médica de este procedimiento. Mientras el Dr. Díaz espera a que la anestesia le haga efecto al paciente, la enfermera Liliana le notifica que los análisis del paciente están listos. Después de unos minutos, la pantalla resalta el siguiente paso en el procedimiento indicando al Dr. Díaz que debe iniciar la extracción de médula. La pantalla entonces marca aquéllas acciones previamente realizadas y resalta el siguiente paso.

Una vez que el Dr. Díaz termina el procedimiento, la pantalla presenta una historia de las actividades ejecutadas al paciente. Lety selecciona las acciones relacionadas con la administración de medicamentos al paciente para integrar dicha información a la hoja de enfermería. El Dr. Díaz selecciona la actividad de extracción de medula y la transfiere a su PDA para después discutir el procedimiento con sus colegas.

V.2. Una actividad computacional (e-activity)

En los tres escenarios presentados en la sección anterior, las unidades centrales del sistema computacional son actividades. Por ejemplo, en el Escenario I durante el monitoreo de Pedro, la actividad de orina se detecta, almacena y después se muestra en la pulsera o en el celular de la enfermera. Para el escenario II, las actividades del cuidado diario se utilizan como unidad central de planeación y adaptación de una lista de pendientes. Finalmente, para el escenario III, la actividad de extracción de medula se utiliza para guiar al médico y a una enfermera sobre un curso de acción particular. De aquí se pueden observar que las *e-activities* son:

- *Reactivas y pro-activas*, ya que pueden reaccionan a los cambios en el contexto,
- *secuenciales*, ya que pueden formar historias;
- *móviles*, ya que se ejecutan en diferentes lugares y;
- *persistentes*, ya que se pueden almacenar y mostrar por periodos largos de tiempo.

Una *actividad computacional (e-activity)* es una representación computacional de una actividad humana, compuesta por información, operaciones y políticas (ver Figura 27).



Figura 27. Estructura de una actividad computacional

La información de una e-activity puede contener atributos y/o propiedades. Mientras los atributos contienen la información útil, las propiedades contienen estadísticas de acceso y de uso -como en un archivo de computadora. Por otro, lado las propiedades son operaciones o servicios que indican las acciones que puede ejecutar una actividad. Por

ejemplo, almacenar la actividad en un repositorio de datos, copiarla o transferirla o filtrar la información de la misma. Finalmente, las políticas son reglas que gobiernan el funcionamiento de las operaciones. Por ejemplo, cuando el valor en un atributo de la actividad exceda un umbral, la actividad debe ejecutar *la* operación correspondiente.

V.2.1. El ciclo de vida de una actividad

Durante su ejecución, una *e-activity* puede tomar los siguientes cuatro estados (Bardram y Christensen, 2007) :

- Una *e-activity* se *inicia* cuando un usuario la crea asociando recursos e información o, cuando la infraestructura UbiComp la descubre. En este caso la *e-activity* se deberá propagar hacia todos los componentes que integran el sistema UbiComp para que éstos reaccionen acorde. Por ejemplo, en el escenario I, cuando se detecta la orina de Pedro y Rita consulta esta información en su PDA, el sistema consciente de la actividad creó una *e-activity* equivalente a ser desplegada en el celular de Rita.
- Una *e-activity* se *suspende* cuando el usuario interrumpió la ejecución de una actividad para cambiar a realizar otra. Cuando la *e-activity* está en este estado, se encuentra esperando a volver ser activada –mientras tanto ésta se almacena en un repositorio de actividades. Por ejemplo, en el escenario II, cuando Rita suspende la actividad de control de líquidos para realizar la extracción de médula.
- Una *e-activity* se *reanuda* cuando el usuario vuelve a ejecutar una actividad que estaba suspendida –este estado es el inverso al anterior. Como en el escenario II, cuando Rita al final reanuda sus actividades desfazadas.
- Una *e-activity* se *finaliza* cuando alcanzó su objetivo. Como en el escenario III, cuando Rita y el Dr. Díaz terminan la extracción de médula.

Es así como el concepto de actividad soporta interrupciones y la administración de múltiples actividades permitiendo que una *e-activity* se suspende y después se reanude. Esto además permitirá que la actividad se reanude entre diferentes dispositivos soportando la movilidad y la distribuida naturaleza de los ambientes UbiComp.

V.2.2. Reactividad y proactividad

Debido a que una e-activity debe estar “*consciente*” de los cambios dinámicos en el ambiente, ésta debe ser reactiva y proactiva –estas dos características diferencian nuestra definición con las otras reportadas en la literatura.

- Una e-activity es *reactiva*, ya que reacciona cuando los usuarios alteran la ejecución de una actividad, su comportamiento o hubo un cambio en el contexto. Dependiendo de la situación, el cambio puede ser positivo o negativo. Por ejemplo, en el escenario III, cuando el Dr. Díaz selecciona la actividad de extracción de médula.
- Además, una e-activity es *proactiva* ya que se anticipa a una situación futura. Es decir, toman el control y actúan en lugar de solo esperar a ajustarse a una situación o esperar a que suceda algo. Por ejemplo, en el escenario III cuando la aplicación resalta el siguiente paso en la guía médica.

Entonces, las características de continuidad, reactividad y proactividad se derivan del deseo de que una actividad actúe de manera flexible e inteligente para responder a los cambios en el ambiente –pudiendo requerir la intervención humana¹². Idealmente, una e-activity que funciona continuamente por largos periodos de tiempo debe ser capaz de aprender de su experiencia en el ambiente.

V.2.3. Identificación de una actividad computacional

Un elemento importante de una *e-activity* es percibir la información del contexto. En esta sección, se resaltan algunas maneras en que los diseñadores pueden descubrir la información relevante para inferir una actividad monitoreando estas dos variables contextuales:

¹² Utilizando los términos de proactividad y reactividad en una e-activity puede sonar como un agente autónomo. Sin embargo, una e-activity es creada y modificada de acuerdo a las necesidades y actividades de un usuario. Entonces existe una autoría para cada e-activity, a diferencia de un agente que es autónomo.

Artefactos

Los artefactos contienen información que se pueden utilizar para derivar conocimiento acerca de la actividad de un usuario. Estos artefactos pueden proveer información de muchas maneras:

- De manera *visual*, ya que son objetos físicos que se encuentran dentro del ambiente y contienen símbolos visuales como palabras, dibujos o números, su estado y su relación con otros objetos. Por ejemplo, si se pueden ver que una persona tiene en su mano un cepillo de dientes es muy probable que se este lavando los dientes.
- De manera *acústica*, ya que el uso de estos artefactos puede generar sonidos cuando una persona crea, destruye, mueve, divide o manipula un artefacto de diferentes maneras. Por ejemplo, cuando alguien opera unas tijeras y se oye un tijeretazo con las navajas –a partir de esto se pueden inferir que alguien esta cortando algo.

Entonces, viendo o escuchando la manera en que los artefactos se manipulan es posible determinar qué se está haciendo.

Interacción con personas

Otra fuente de información es la interacción y relación entre personas. Las interacciones son la forma predominante de comunicación en la mayoría de los grupos, y hay tres maneras de proporcionar información:

- De manera *verbal*, cuando las interacciones se basan en conversaciones verbales. En este caso una persona explícitamente puede hablar acerca de la actividad que está ejecutando o que se va a ejecutar, con el fin de comunicar esta información a sus colaboradores o simplemente para establecer donde están trabajando y qué están haciendo. Por ejemplo, muchas veces nosotros anunciamos a otros la actividad que vamos a hacer “voy a ir al banco”. Esto puede dar evidencia a una aplicación acerca de qué es lo que está haciendo (dejando un lugar), qué hará en el corto plazo (trasladarse al banco) y en el largo plazo (realizar una transacción bancaria).
- De manera *observacional*, las personas muchas veces interactúan señalando objetos, mediante gestos o el uso de mímica. En este sentido los gestos u otras

acciones visuales pueden también acarrear información acerca de la actividad que una persona está ejecutando.

- Finalmente, están *las interacciones que involucran el uso de artefactos*. En este caso cuando tanto el artefacto como el actor interactúan, pueden detectarse esta información en conjunto puede proveer información acerca de la actividad de un usuario. Por ejemplo, si se tiene un bote de agua en la mano y se está con un entrenador físico, es muy probable que una persona esté haciendo ejercicio. En este caso, saber que tenía el bote de agua no era información suficiente para predecir mi actividad, pudo tener el bote de agua y estar comiendo. Sin embargo, el combinarlo con otra información contextual ayudó a predecir de manera correcta la actividad.

De manera similar otra información contextual como la ubicación de una persona combinada con los artefactos utilizados y las personas involucradas se pueden usar para proveer información acerca de la actividad que se está ejecutando. Sin embargo, creemos que la localización por sí sola no es información contundente para predecir una actividad (ver Capítulo IV). El punto aquí es que la información primaria proviene de artefactos y personas y para casos especiales se puede utilizar otra información contextual.

En resumen, una e-activity es una entidad de software que representa a una actividad que un usuario ejecuta, la cual se administra por un controlador de e-activities el cual reacciona continuamente respondiendo de manera proactiva a las necesidades del ambiente habitado por otras actividades o procesos.

V.3. Principios del cómputo consciente de la actividad

En esta sección se describen un conjunto de principios que debe poseer una aplicación consciente de la actividad. El contenido de estos principios proviene del trabajo relacionado en HCI, Ubicomp y cómputo basado en la actividad, así como, de nuestras propias observaciones y experiencia en el diseño de aplicaciones conscientes de la actividad.

Modulación de la representación de una actividad computacional

Este principio establece que una aplicación consciente de la actividad debe ser capaz de adaptar la representación de una actividad computacional dependiendo de: (1) la granularidad deseada por un usuario, (2) las capacidades del dispositivo que la mostrará y (3) la información de contexto que la influencia. Por ejemplo, dadas las capacidades de los dispositivos utilizados en el escenario I, la representación de la actividad se muestra por el celular es más compleja que aquella se muestra por la pulsera. Por otro lado, una persona puede desear reducir la cantidad de información se muestra por una aplicación por requerimientos de privacidad.

Reconocimiento y descubrimiento de actividades

Este principio establece que una aplicación consciente de la actividad debe ser capaz de inferir la actividad ejecutada por un usuario y aquellas que ellos monitorean. Para esto, se requiere identificar: (1) la información contextual relevante para realizar la estimación y (2) las tecnologías apropiadas para sensar dicha información. Esto apoyará a un usuario a identificar cuando una actividad emerge, como termina y como se relaciona con otras. Entonces, una aplicación consciente de la actividad proporcionar mecanismos que permitan transformar la información sensada en la definición de una actividad computacional y administrar su ciclo de vida.

Monitoreo de la actividad

Este principio establece que una aplicación consciente de la actividad debe supervisar los cambios en el contexto en que dicha actividad se ejecuta. Por ejemplo, en el escenario II, cuando Rita se encuentra realizando el procedimiento quirúrgico, la aplicación decide notificarle a Carmen acerca de aquellas actividades que se encuentran desfasadas. O bien, en el escenario I, cuando Rita reciba una notificación en su pulsera, la cual indica que Pedro ha orinado. Entonces, una aplicación consciente de la actividad deberá poseer mecanismos que permitan traducir la información percibida por sensores en acciones a ser ejecutadas después por la aplicación –permitiendo así a una aplicación reaccionar ante los cambios de contexto.

Almacenamiento de actividades en historias

Este principio establece que una aplicación consciente de la actividad debe ser capaz de almacenar actividades computacionales en forma de historias. Esto permitirá a una aplicación mostrar la línea de tiempo de una actividad, recuperarla cuando ésta sea relevante y anticiparse a diferentes cursos de acción durante la ejecución de la misma. Por ejemplo, en el escenario III, la actividad de extracción de médula previamente ejecutada con el paciente 228 es se le muestra al Dr. Díaz quién se percató que el paciente ha tenido una reacción alérgica a la anestesia. El tener estas historias coherentes también permitirá inferir la siguiente actividad que una persona ejecutará. Como por ejemplo, en el escenario II, cuando el asistente móvil le sugiere a Rita iniciar la extracción de médula recalendrando las restantes. Entonces, una aplicación consciente de la actividad deberá proporcionar mecanismos para administrar estas historias permitiendo así a una aplicación consciente de la actividad proporcionar evidencia de cómo las actividades fueron, son y podrían ser ejecutadas.

Servicios centrados en la actividad

Este principio establece que las actividades computacionales deben ser la unidad central de del ambiente de cómputo, junto con, documentos y aplicaciones previamente asociados a dicha actividad (Bardram y Christensen, 2007). Esta actividad computacional empaqueta un conjunto de aplicaciones, su estado y recursos de información. Dichas aplicaciones tratarán a los recursos como un todo en lugar de como entes separados. Esto se ejemplifica en el escenario III cuando el Dr. Díaz transfiere la actividad de la extracción médula desde la pantalla a su PDA en lugar de transferir el expediente del paciente, la guía médica, los artefactos, entre otros. Así como este principio de transferencia y uso de la actividad como unidad central, los demás principios de cómputo basado en actividad se deberán heredar por una aplicación consciente de la actividad.

V.4. Resumen y discusión

En este capítulo, se describe un conjunto de escenarios de uso que ejemplifican la aplicabilidad del cómputo consciente de la actividad en hospitales. En función a estos

escenarios y nuestras experiencias en el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad definimos los principios básicos que debe implementar una aplicación consciente de la actividad. Además, presentamos la definición de una actividad computacional resaltando diferentes maneras en que los diseñadores pueden crearla y administrarla como la unidad central en un sistema UbiComp.

Creemos que una de las principales contribuciones de esta tesis es que los conceptos del cómputo consciente de la actividad y los principios de diseño constituyen un marco conceptual para apoyar a los diseñadores en la creación de sistemas conscientes de la actividad.. En el siguiente capítulo ilustramos como este marco conceptual permite la creación de sistemas conscientes de la actividad en apoyo al monitoreo de actividades.

Capítulo VI

Cómputo consciente de la actividad en pantallas ambientales para el monitoreo de actividades

En este capítulo se presenta el diseño e implementación de dos pantallas ambientales conscientes de la actividad para mostrar la factibilidad y aplicabilidad de esta tecnología para el monitoreo de pacientes en hospitales. Primero, se introduce el concepto de pantalla ambiental. Posteriormente, se presenta el diseño e implementación de dos pantallas ambientales conscientes de la actividad que permiten crear una conexión ambiental entre pacientes y enfermeras. La primera, el ADL Monitor, es una pantalla ambiental móvil, que utiliza una pulsera y un celular para notificar a enfermeras la actividad realizada por los pacientes a su cargo. La segunda, denominada FlowerBlink, es una pantalla ambiental fija, que toma en cuenta la información contextual relativa a la presencia de enfermeras para notificar el estado de la bolsa de orina de un paciente. Finalmente, se discute cómo el cómputo consciente de la actividad facilita la implementación de múltiples pantallas ambientales.

VI.1. Pantallas ambientales

El mundo físico donde vivimos e interactuamos contiene una gran cantidad de información ambiental que utilizamos como señales periféricas. Estas señales incluyen desde sonidos o luces que se usan para consultar información ambiental hasta objetos que se utilizan para transmitir información a otros. Por ejemplo, alguien podría dejar la puerta de su oficina abierta, semi-abierta o cerrada para comunicar a otros su disponibilidad. O sombras y sonidos en los pasillos pueden indicarnos la presencia de alguien.

Con esta idea en mente, el trabajo de investigación en cómputo ubicuo ha incluido la implementación de pantallas ambientales que pueden empotrarse en objetos que conocemos y utilizamos en nuestra vida diaria. Estos objetos pueden convertirse en la

interfaz del usuario con el ambiente. Por ejemplo, un espejo extendido con sensores infrarrojos y un panel acrílico puede detectar la presencia de un usuario y actuar como un tablero de mensajes mostrando información relevante cuando el usuario se encuentre frente al espejo. De acuerdo a esta visión, la interacción física entre humanos y dispositivos computacionales será parecida a cómo los humanos interactúan con el mundo físico en contraste con el paradigma tradicional de teclado, ratón y pantallas ordinarias de computadora. De hecho, la noción de lo que constituye una pantalla computacional esta cambiando. Ya no es sólo aquella pantalla confinada al típico monitor CRT con un solo usuario poniéndole atención mientras interactúa con objetos virtuales en dicha pantalla (Lund y Wilberg, 2007). Las pantallas de computadora tienen ahora diversas formas desde pantallas pequeñas en celulares o computadoras de bolsillo hasta pantallas ambientales que proveen información periférica de la presencia de personas, objetos o información. Definidas por (Mankoff *et. al.*, 2003): *“Las pantallas ambientales son dispositivos estéticos que funcionan como pantallas de información y residen en nuestra periferia. Estas pantallas tienen el rol ambiguo de presentar información sin distraer al usuario pero siendo lo suficientemente expresivas para ser percibidas –estas pantallas son generalmente capaces de monitorear información”*. Por ejemplo, la artista Natalie Jermijenko en Xerox Parc extendió una cuerda agregándole un motor y una rueda para notificar el estado del tráfico a un usuario –Dangling String (Weiser y Brown, 1995). La velocidad con la que gira la cuerda depende de la cantidad de tráfico en la autopista. Durante periodos intensos de tráfico los movimientos de la cuerda son también ligeramente audibles. Entonces, las pantallas ambientales a diferencia de las pantallas ordinarias de computadora se diseñan para no distraer a los usuarios de sus tareas sino para actuar como recordatorios sutiles que se pueden ocasionalmente percibir –contribuyendo además a la estética del lugar en donde se implantan (Lund y Wilberg, 2007).

Innegablemente, las pantallas ambientales necesitan dispositivos computacionales que sean capaces de percibir la información en nuestro ambiente viendo y escuchando las entidades que radican en él –qué están haciendo estas entidades y dónde están. El cómputo responsivo es una solución que permite a los dispositivos computacionales estar conscientes de sus alrededores y a la vez responder ante ellos (López de Ipiña y Lai Lo,

2001). Sensores que se pueden adherir a las tecnologías de comunicación actuales podrían ser capaces de percibir un amplio rango de información contextual incluyendo localización, estado del tráfico, presencia de los usuarios, entre otros (Hopper, 1999). De hecho, un artefacto responsivo tiene la habilidad de percibir el estado de su ambiente a través de la fusión e interpretación de información de diferentes fuentes (Addlesee *et. al.*, 2001). Los artefactos responsivos más exitosos son los sistemas de localización en interiores que mezclan la información de distintas fuentes como etiquetas RFID¹³ o la intensidad de la señal recibida de los puntos de acceso por dispositivos (Werb y Lanzl, 1998; Addlesee *et. al.*, 2001; Hightower y Borriello, 2001; Castro y Favela, 2005; Castro y Favela, 2008).

Mientras las pantallas ambientales proporcionan una alternativa para cambiar el medio de interacción con ambientes ubicuos, las tecnologías ambientales permiten a dichas pantallas ser reactivas y perceptivas a los cambios dinámicos del ambiente. En este capítulo proponemos el concepto de *pantallas ambientales* combinando las ideas de pantallas ambientales y cómputo responsivo. Las pantallas ambientales son artefactos cotidianos extendidos con servicios digitales capaces de percibir información del ambiente para encapsularla y después utilizarla extendiendo las capacidades de dicho artefacto. De esta manera, las pantallas ambientales proveen a los usuarios un nuevo medio de interacción bidireccional con el ambiente ubicuo. Mientras el ambiente a través de pantallas ambientales nos ofrece información continua de manera sutil y periférica se pueden manipular dichas pantallas para cambiar el estado de algún objeto modificando el comportamiento de dicho ambiente.

VI.2. El ADL Monitor: Una pantalla ambiental móvil

En esta sección se describe el diseño e implementación de una pantalla ambiental móvil consciente de la actividad –el ADL Monitor. El ADL Monitor permite crear una conexión

¹³ Las [etiquetas RFID](#) son unos dispositivos pequeños que se pueden adherir a una entidad. Éstas, contienen [antenas](#) que les permiten recibir y responder a peticiones de radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID.

ambiental entre pacientes y enfermeras independientemente de su localización (Tentori y Favela, 2008). El ADL Monitor esta compuesto por dos artefactos responsivos, una pantalla ambiental y un asistente móvil. La pantalla ambiental es una pulsera de dos capas vinílicas que contiene cinco botones (ver Figura 28a). Cada botón tiene empotrada una luz tricolor y representa un paciente bajo el cuidado de una enfermera. Tomando la analogía del semáforo y el modelo de emergencia ampliamente conocido y utilizado en hospitales, las luces de la pulsera se prenden verde, amarillo o rojo dependiendo del nivel de emergencia asociado con la actividad del paciente. Las luces se prenden para notificar a la enfermera: (1) si el paciente se encuentra realizando una actividad, (2) cuando un evento importante ocurre o (3) después de que una serie de eventos acontezcan. La enfermera puede presionar el botón de la pulsera para consultar información asociada a la actividad que el paciente está ejecutando. Esta información se muestra a la enfermera a través de su asistente móvil en su celular (Figura 28b). La enfermera también puede utilizar el asistente móvil para asociar prioridades (Figura 28c) o información contextual a las actividades monitoreadas (Figura 28d). Esta información puede a su vez actuar como un evento que controle los colores de las luces de la pulsera. Por cada actividad que se está monitoreando, el ADL Monitor utiliza un artefacto responsivo. Para el caso del ADL Monitor se desarrolló una balanza que se adhiere a la bolsa de orina del paciente y mide su peso. El otro aparato responsivo es el encargado de establecer la comunicación entre la pulsera y el celular.



Figura 28 . El ADL monitor (a) Una enfermera utiliza su pulsera consciente (b) el asistente

móvil muestra información relacionada con la actividad que un paciente está ejecutando (c) la enfermera utiliza su celular para asignar colores o (d) información contextual

Regresando al primer escenario, a continuación se describe como el ADL monitor le facilita a Rita el monitoreo del balance de líquidos de Pedro.

Rita utiliza el asistente móvil en su celular para especificar que la luz que representa a Pedro en su pulsera debe prenderse verde cuando él evacue u orine. Además, debe prenderse en rojo si él ha evacuado más de cinco veces en seis horas (ver Figura 28b).

Después, mientras Rita está preparando medicinas, la luz de Pedro en la pulsera de Rita se prende en verde. Rita presiona el botón en la pulsera, y su teléfono le indica la actividad que Pedro está ejecutando (ver Figura 28b). Rita nota que Pedro ha orinado aproximadamente 10 mililitros y ha evacuado. Rita se traslada al almacén y toma el equipo médico que necesita para limpiar a Pedro. Enseguida, se dirige al cuarto de Pedro para limpiarlo. Después de limpiarlo, Rita actualiza el balance de líquidos de Pedro.

Durante la noche, la luz de Pedro en la pulsera de Rita constantemente se prende en verde y se cambia a amarillo. Después de un par de horas, mientras Rita se encuentra discutiendo un caso clínico con el Dr. Pérez, su pulsera se prende en rojo. Rita consulta su celular y nota que Pedro ha orinado siete veces en seis horas. Ella discute esto con el Dr. Pérez, quién decide cambiar el medicamento de Pedro para evitar dañar el nuevo riñón transplantado.

Es de esta manera que los componentes que conforman al ADL Monitor permiten una interacción simple mientras crean una conexión inalámbrica, perceptible y sutil facilitando la adaptación de la información mediante el uso de la actividad como la unidad principal del sistema. En las siguientes líneas se describe cómo estos componentes trabajan en conjunto para soportar estos tres servicios.

Proporcionando información de la actividad de una manera perceptible y modulada

La idea de este servicio es administrar adecuadamente cómo la información se le presentará al usuario. Una pantalla ambiental que cambia muy rápido puede distraer al

usuario mientras una pantalla que cambia muy lentamente puede pasar inadvertida (Johan *et. al.*, 2000). Para balancear esta asimetría, el ADL Monitor modula la información que se le despliega al usuario. Mientras la pulsera solo despliega el estado del paciente y su identidad, el celular muestra información adicional, como la cantidad y frecuencia de los hábitos de orina de Pedro. Esto permitirá a una enfermera explícitamente extender la información se muestra por la pulsera con aquella se muestra en el celular integrando ambas pantallas sin restringir su utilidad. Mediante esta modulación de la representación gráfica de la actividad, el ADL Monitor garantiza la presentación sólo de aquella información que la enfermera requiere.

Permitiendo una interacción simple y sutil

Los usuarios no tienen experiencia previa en el uso de las pantallas ambientales por lo que la interacción debe ser intuitiva. El ADL Monitor utiliza colores análogos al semáforo y adaptados del modelo emergencia conocido y utilizado en el hospital. Esto permite a las enfermeras descubrir de manera natural el estado de emergencia en el que se encuentra un paciente. Empotrando una luz en cada botón de la pulsera, se extienden las capacidades de un artefacto sin alterar su significado tradicional o la manera de interactuar con él. Esto permite reducir la carga cognoscitiva en aprender cómo funcionan dichas pantallas incrementando la atención en contenido (Gross, 2003).

Reaccionando ante los cambios en el curso de acción

El ADL Monitor almacena las actividades monitoreadas en secuencia como historias. Esto permite valorar los diferentes significados que una actividad tiene o cómo ésta ha evolucionado a través del tiempo. Como se ilustra en el escenario, el color de la pulsera durante la noche cambia de verde a amarillo hasta llegar al rojo. Esto es posible ya que el ADL Monitor analiza la historia de hábitos de orina de Pedro; percatándose de la cantidad de veces que Pedro ha orinado y decide en función a un umbral o frecuencia predefinidas, modificar el color de la pulsera.

VI.2.2. Diseño e implementación

En esta sección se describen los componentes de software que integran el ADL Monitor, así como, su interacción para proveer los servicios discutidos. El ADL Monitor utiliza actividades computacionales como sus unidades centrales de adaptación y generadoras de eventos. Esto permite al ambiente ubicuo reaccionar conforme el curso de acción de la actividad que se ejecuta cambia, ya sea reaccionando ante un evento y/o desplegando la actividad computacional en diferentes dispositivos (como el celular y la pulsera). El sistema utiliza una arquitectura cliente-servidor como base de su implementación (ver .Figura 29). El servidor consciente de la actividad esta compuesto por tres capas. Dichas capas son responsables de crear actividades computacionales e historias basándose en la información sensada por los sensores.

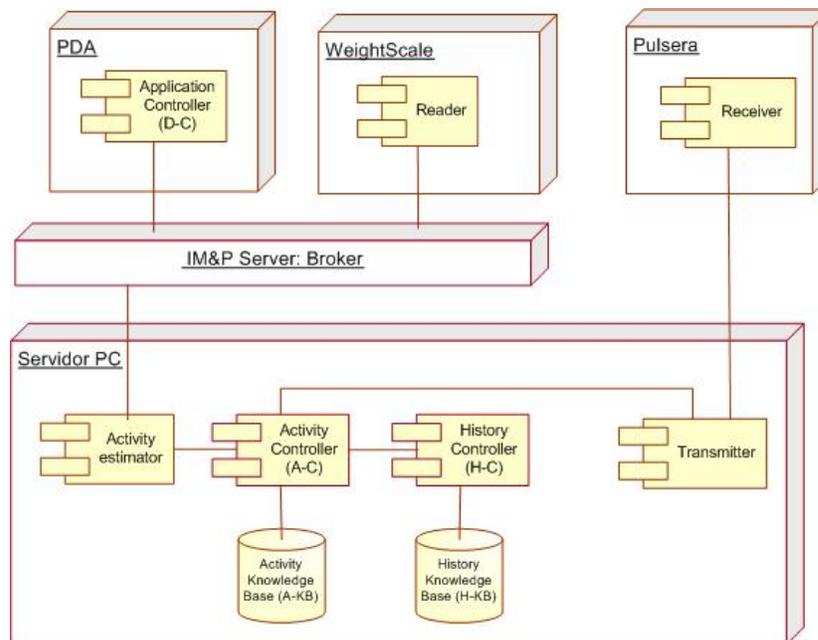


Figura 29. Arquitectura del ADL Monitor

En la capa de más bajo nivel reside el *Activity estimator* el cual es responsable de reconocer la actividad del usuario mapeando de la información contextual recabada por los sensores a la actividad del usuario.

En la capa intermedia reside el *ActivityController* quien define la equivalencia computacional de la actividad reconocida por la capa inferior, es decir, una *e-activity*. Esto

lo realiza extrayendo una actividad similar de la base de conocimiento o creando una actividad nueva en función a la información proporcionada por la capa inferior. La Figura 30a muestra un ejemplo de la actividad computacional: orina. En este caso si es mayor a 10 Mm. la pulsera cambia de bajo a medio resultando en un cambio de color de verde a amarillo.

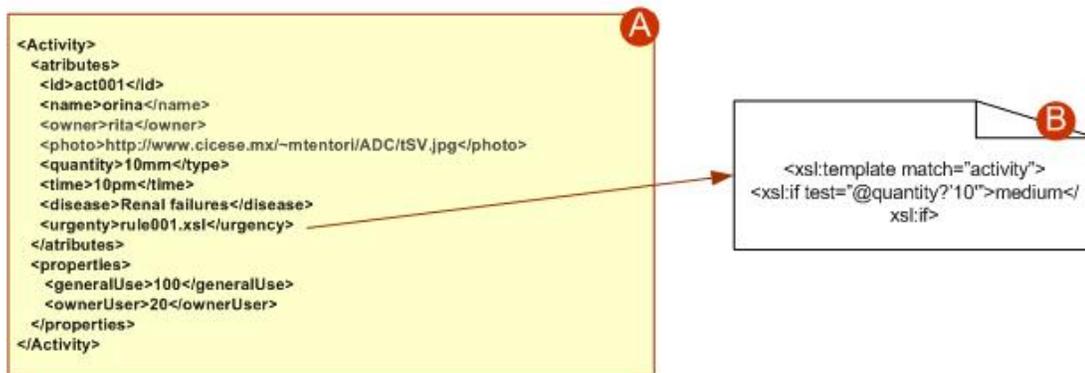


Figura 30 Unidades centrales del ADL monitor (a) Definición de la actividad computacional: orina (b) Regla para obtener la urgencia de una actividad

Finalmente, en la capa superior, utiliza la definición de actividad computacional proporcionada por la capa intermedia para crear historias computacionales de actividades que ejecuta un paciente. Una historia contiene los mismos atributos especificados en una actividad, la principal diferencia es que la historia tiene un conjunto de actividades asociadas donde para cada actividad se pueden establecer atributos. Esta capa también analiza dicha historia para inferir la siguiente acción o evento y como los atributos de las actividades cambian conforme el curso de acciones evoluciona. Esto se realiza comparando la historia activa con otras almacenadas en la base de conocimiento.

Para ejemplificar como estos componentes interactúan para ofrecer esta funcionalidad re-visitamos el escenario en el siguiente diagrama de secuencia (Figura 31). Cuando la balanza *WeightScale* detecta la presencia de un nuevo líquido en la bolsa de orina del paciente, ésta envía una notificación al servidor consciente de la actividad. El componente de estimación de actividad (i.e., Activity Estimator) reside en la capa inferior del servidor y recibe la información sensada por la balanza *WeightScale* la cuál utiliza para inferir la actividad que está ejecutando el paciente; generando así, la primera representación de

actividad computacional. En este caso la definición contiene únicamente algunos atributos primarios como el identificador y nombre de la actividad o información contextual sensada como la cantidad de orina en la bolsa –ver Figura 30a. Después, el *Activity Estimator* envía esta actividad a la capa superior. En la capa superior el componente controlador de actividades (i.e., *Activity Controller*) recibe la actividad y la re-formatea. Para ello, el *Activity Controller* extrae otra actividad similar de su base de conocimiento o crea una nueva con la información proporcionada por la capa inferior. Si la actividad tiene condiciones asociadas, el *Activity Controller* las impone aplicando las reglas.

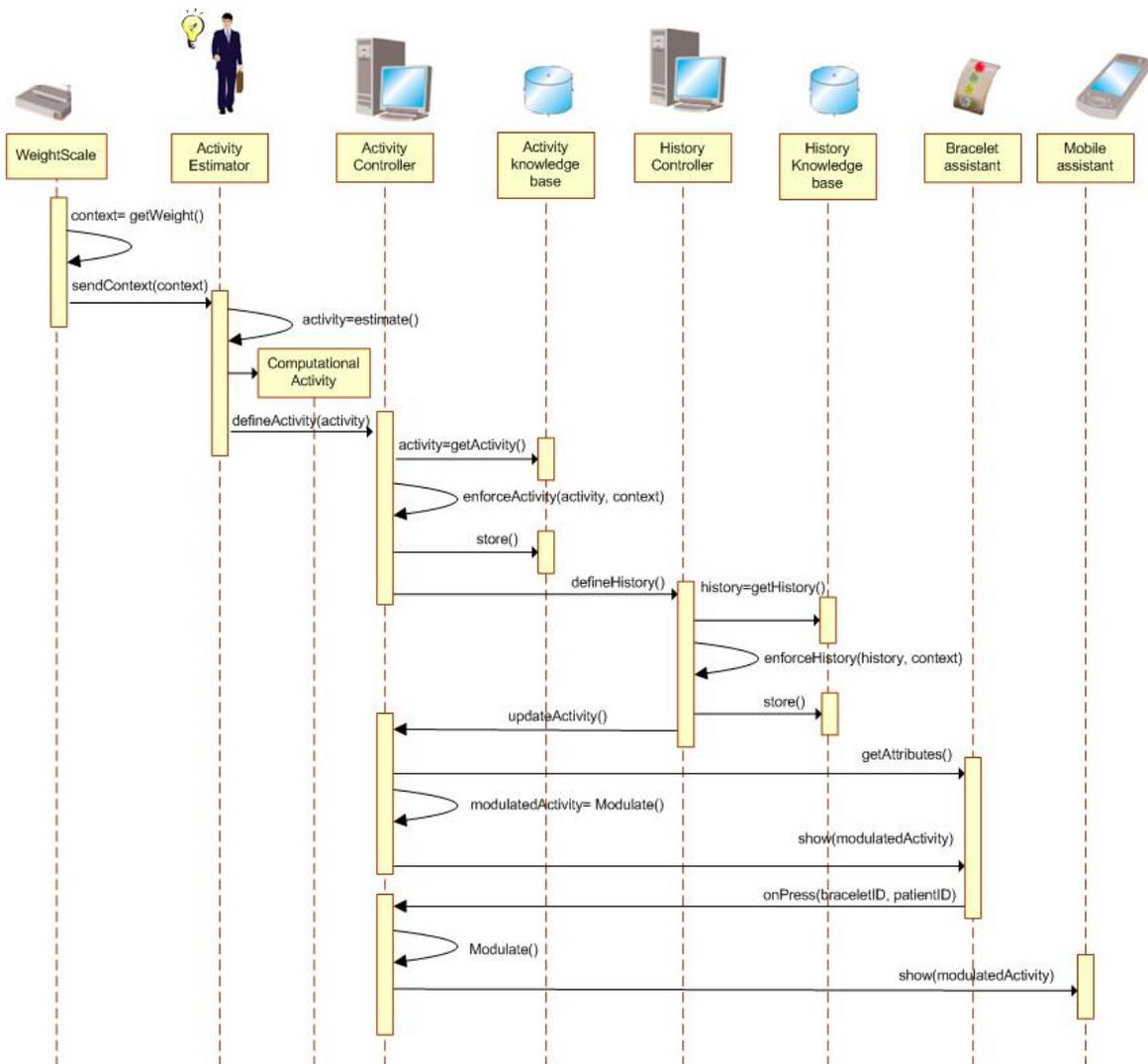


Figura 31 Diagrama de secuencia que muestra cómo la pulsera cambia de verde a amarillo y cómo la información de la actividad se modula en función al dispositivo que la despliega

Posteriormente, el *Activity Estimator* envía esta actividad con más información agregada al controlador de historias (i.e., History Controller) quién recibe esta información y realiza una operación similar a la del Activity Controller. –aplica las condiciones o reglas y notifica la nueva definición de actividad mejorada a su capa inferior. El *Activity Controller* consulta los atributos del dispositivo que administrará la actividad y modula las características de la misma. El ActivityController envía esta información modulada al *Bracelete Assistant* quién finalmente prende el botón en amarillo basándose en la representación de actividad recibida por el ActivityController. Cuando se presiona el botón de la pulsera esta información se envía al ActivityController quien realiza una operación similar para modular la actividad que será desplegado en el *Asistente Móvil* en el celular.

La comunicación entre el celular y el servidor ocurre de manera inalámbrica y el servidor se comunica con la pulsera a través del artefacto responsivo NoninterferenceCom¹⁴. NoninterferenceCom se desarrolló para establecer una comunicación segura entre los componentes del ADL Monitor, ya que trabaja en frecuencias bajo 27 Mhz. Este permite evadir interferencias entre la pulsera y equipo localizado en el hospital o usado por los pacientes –como un marcapasos. El transmisor es responsable de enviar y recibir mensajes de la pulsera (ver Figura 32a). El transmisor se conecta internamente al servidor a través del puerto RS232 utilizando un control remoto para enviar mensajes. El transmisor tiene empotrado un circuito receptor que administra las señales radioeléctricas de la pulsera y las transforma en pulsos. El circuito utiliza un regulador 7805 para decrementar voltios mayores que 5VDC forzándolo a trabajar bajo un rango TTL. El circuito también usa un componente Max232 que convierte las señales entre +12/-12V del puerto serial a 5V+. Estos voltajes son salidas del circuito que activan el circuito del control remoto para el envío de mensajes. Por otro lado, la pulsera tiene empotrado un circuito receptor que convierte señales radioeléctricas en pulsos eléctricos (ver Figura 32b). Este circuito realiza una operación NOT sobre dichos pulsos, usando una puerta de inundación 741s04 para convertir dichos pulsos a cero. Esto permitirá a la pulsera enviar señales radioeléctricas o recibir pulsos. Cuando una enfermera presiona el

¹⁴ Esta triangulación de la comunicación no está representada en el diagrama de secuencia

botón de la pulsera, un mensaje se envía al servidor especificando un paciente y un identificador (ID) de la pulsera. Basado en dicho ID, el servidor determina la actividad que se debe desplegar en el celular.

Además, el ADL Monitor requiere monitorear el peso de la bolsa de orina y comunicar esta información a la pulsera y al celular. Para ello se desarrolló la balanza: WeightScale. WeightScale es un artefacto responsivo que mide la cantidad de orina en la bolsa y comunica esta información de manera inalámbrica a un mote. Este artefacto se adhiere a la bolsa de orina usada por el paciente permitiendo un sensado discreto. El WeightScale esta hecho de dos piezas acrílicas separadas por un pequeño resorte y un botón push. Se calibró la separación requerida entre ambas piezas acrílicas. Entonces cuando la orina se incrementa o llega a un límite (cuando la orina ha llenado 80% de la bolsa) la pieza acrílica presiona al botón. Es entonces cuando el sensor genera un pulso eléctrico. El mote lee este pulso y lo transmite al servidor de manera inalámbrica. Cuando una enfermera reemplaza la bolsa el botón regresa a su posición original.

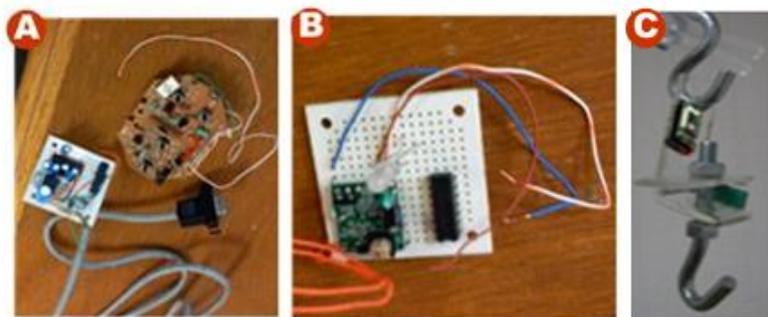


Figura 32 Los componentes electrónicos de la pulsera (a) El transmisor utilizado por el servidor; (b) el receptor empotrado en la pulsera y; (c) la balanza WeightScale

VI.2.3. Evaluación preliminar

En esta sección discutimos los resultados de una evaluación preliminar realizada para evaluar el diseño de la pulsera, su intención de uso y las características principales del sistema. Para esta evaluación se condujeron entrevistas largas con duración de 30 a 60 minutos con siete enfermeros –3 hombres y 4 mujeres. Al inicio de cada entrevista se explico la idea del sistema y se presentaron dos escenarios ilustrando el contexto de uso del

sistema. El primer escenario corresponde al presentado anteriormente. En el segundo escenario la enfermera utilizaba el brazalete para monitorear el sangrado del paciente durante la inserción de un catéter.

Todas las enfermeras indicaron que la pulsera les ayudaría a ahorrar tiempo, evitar errores y mejorar la calidad de atención proporcionada a los pacientes. Una enfermera comentó durante una entrevista: *“Esta pulsera mejorará la calidad de atención. El trabajo será el mismo, pero lo realizaré más rápido. ...Por ejemplo, si un paciente ha evacuado no puedo saber hasta que alguien me diga o huelo algo raro. Con la pulsera puedo saber las necesidades de los pacientes y puedo inclusive llevarme conmigo las cosas que necesito en lugar de andar dando vueltas”*. Además, los enfermeros notaron que el sistema les podía ayudar a priorizar eventos y pacientes. Una enfermera comentó: *“Algo que no podemos hacer ahorita es identificar a qué paciente se le debe atender primero, un sistema como este podría ayudarme a identificar la urgencia de cada uno de mis pacientes y sus necesidades de atención”*. Aunque las enfermeras coincidieron que el sistema tiene más ventajas que desventajas, todavía se encuentran preocupadas por los problemas que la introducción de un sistema de este tipo podría generar. Una enfermera comentó: *“A mi no me gustan estas cosas por que yo soy una enfermera de la escuela vieja que le gusta su trabajo, y nosotros debemos dar tanto calidad de atención como afecto y cariño al paciente. ... Y con este tipo de sistemas la relación entre paciente y enfermera podría perderse... el afecto puede ser reemplazado por calidad”*. A pesar que estos problemas se identificaron, los enfermeros encontraron la aplicación útil y eficiente, y la idea general les gustó. Los enfermeros expresaron repetidamente que un sistema como este les ayudaría a resolver muchos problemas que actualmente enfrentan en el hospital y que no pueden esperar a utilizar dicho sistema. Una enfermera explicó: *“Esto es algo que hemos estado esperando por mucho tiempo; por que esto nos ayuda en el cuidado del paciente en lugar de los otros sistemas que apoyan tareas secundarias”*. Además de validar los escenarios, los enfermeros también expresaron nuevas ideas y oportunidades para aplicar nuestra tecnología en hospitales. Estas ideas van desde simples mejoras técnicas hasta nuevos usos de la pulsera en soporte a su trabajo diario.

Permitir a los usuarios utilizar el sistema como un servicio de recordatorio

Dado la carga de trabajo del personal médico y su intensa movilidad en ocasiones no se percatan de importantes eventos, como un catéter que se ha desconectado debido al movimientos de los pacientes o la necesidad de cambiar una bolsa de orina que se ha llenado (Moran *et. al.*, 2006). Consecuentemente, se les ha culpado de varios problemas asociados a su falta de respuesta oportuna a las necesidades de los pacientes y errores en su monitoreo (Smith y Ziel, 1997). Por ejemplo un enfermero comentó: *“Olvidamos muchas cosas durante un turno por que tenemos mucho que hacer. Por ejemplo los horarios de medicamentos. De repente son casi las 2pm y ya se nos olvidó administrar el medicamento de las 12pm por que no tuviste nada que te recordara”*. Pantallas ambientales conscientes de la actividad, localizadas en diferentes áreas del hospital se pueden utilizar par notificar al personal médico sus pendientes.

Permitir la integración natural con sistemas de monitoreo fijos

El personal médico está acostumbrado a utilizar la tecnología conectada al paciente para evitar problemas y errores. Las enfermeras explicaron que tener información en el celular podría causar problemas, ya que podría confundir a un paciente con otro por que no están frente a él. Por ejemplo una enfermera explicó durante una entrevista: *“Prefiero que la pulsera solo funcione como un indicador por que somos móviles pero en lugar de consultar la información en mi celular, preferiría consultarla en el cuarto del paciente. En este caso estaría segura que el problema que estoy atendiendo corresponde a dicho paciente”*. De hecho, en hospitales existen sistemas fijos de monitoreo que fomentan una comunicación bidireccional entre pacientes y enfermeras. Mientras las enfermeras pueden monitorear los signos vitales de los pacientes u otros indicadores, los pacientes pueden llamar desde su cama a una enfermera que se encuentre en la central de enfermeras. Si bien estos sistemas han sido exitosos están restringidos a la localización en donde éstos están colocados. Lo que se necesita es una pantalla ambiental que pueda integrarse de manera natural con estos dispositivos proporcionando ambos servicios: (1) mantener una conexión independiente de localización y (2) proveer seguridad.

VI.2.4. El FlowerBlink: Una pantalla ambiental fija

En base a la retroalimentación obtenida durante la evaluación del ADL Monitor se desarrolló una pantalla ambiental móvil para extender las funcionalidades del sistema con otra pantalla ambiental fija. En esta sección se describe el diseño e implementación de una pantalla ambiental fija consciente de la actividad –el FlowerBlink (Segura, 2008; Segura *et. al.*, 2008; Favela *et. al.*, 2009). Además se discute cómo esta pantalla fue integrada al ADL Monitor a través de una solución que utiliza el contexto de un artefacto y un usuario para generar interfaces abstractas de la representación de una actividad. En esta sección se describe el diseño e implementación de una pantalla ambiental fija consciente de la actividad. El FlowerBlink es una pantalla ambiental fija consciente de la actividad que notifica a enfermeras los hábitos de orina de los pacientes y el estado de su bolsa de orina (ver Figura 33). El FlowerBlink está compuesto de dos artefactos responsivos y una pantalla ambiental. El primer artefacto responsivo es la balanza WeightScale utilizada por el ADL Monitor (ver Sección VIII.1). El otro artefacto responsivo es un sensor que detecta la presencia del usuario: el PresenceDetector. El PresenceDetector utiliza una tarjeta que tiene empotrada una etiqueta RFID para detectar la presencia de un usuario. Esta tarjeta la lee un lector RFID que se encuentra localizado dentro de la caja del florero. Cada tarjeta RFID identifica a una sala, es decir a los tres pacientes pertenecientes a esa habitación.

La pantalla ambiental es una caja de madera que simula un macetero y que contiene veinticuatro flores artificiales: doce *flores de emergencia* con tallos y doce *flores situacionales* sin tallos. Las flores están compuestas por un fieltro de dos capas que envuelve pistilos cubiertos por cinta de aislamiento. En cada pistilo se encuentra empotrada una luz amarilla o roja. Las *flores de emergencia* tienen tallos con luces amarillos en sus pistilos (Figura 33a). Todas las flores de emergencia parpadean cuando un evento o una emergencia ocurre con la bolsa de orina usada para el paciente –si la bolsa está llena. Por otro lado, las *flores situacionales* son flores sin tallos que tienen una luz roja empotrada en sus pistilos. Las flores situacionales están ordenadas en una matriz que representa la localización de los pacientes en la unidad. Mientras, cada columna de la matriz representa un cuarto en el área cada renglón representa la cama de un paciente –

cada cuarto tiene tres camas para pacientes (ver Figura 33). Este arreglo permite a las enfermeras descubrir oportunamente la bolsa qué paciente está próxima a derramarse. Las flores situacionales se prenden cuando una enfermera se aproxima al FlowerBlink o si las flores de emergencia están parpadeando. Mientras las flores de emergencia están parpadeando una flor situacional se prende indicando a una enfermera la ubicación del paciente relacionado a dicho evento. Cuando una enfermera introduce su tarjeta de identificación en el florero, éste personaliza la información que se muestra a la enfermera -ahora las flores situacionales en lugar de localización indican hábitos de orina de algún paciente incluyendo frecuencia y cantidad.

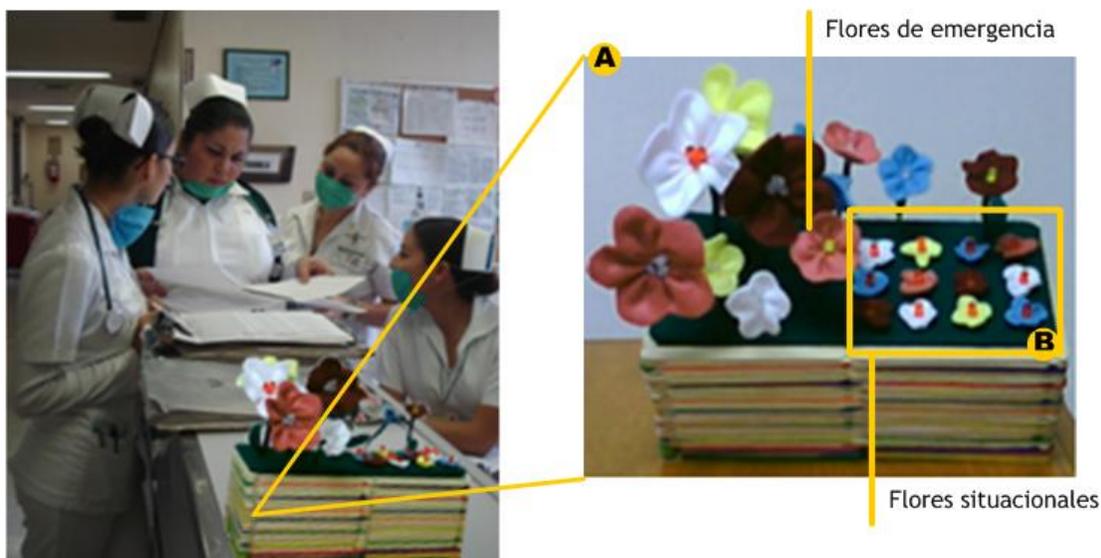


Figura 33 El FlowerBlink (a) Las flores de emergencia notifican eventos relevantes (b) Las flores situacionales personalizan su información basadas en la presencia de una enfermera

En la caja de la pantalla ambiental se embebió una interfaz de comunicación con ocho entradas análogas, ocho entradas digitales y ocho salidas digitales. Utilizamos las salidas digitales para controlar directamente los dispositivos cambiando señales de hasta 30VDC a señales de hasta 2 Amps. La salida actúa como un switch para aterrizar voltajes y éste está protegido de voltajes transitorios típicos. Las salidas se pueden utilizar para controlar directamente aquellos dispositivos que requieren de energía substancial como luces incandescentes, LEDs de alta potencia, solenoides y motores, haciendo posible controlar

las luces de las flores. El comportamiento del FlowerBlink entonces depende de la entrada. Si el dispositivo que envía la señal al macetero es uno de los motes colocados en los sensores de peso, entonces, se toma el ID del nodo y en base a dicho ID se infiere la localización del paciente. Posteriormente, se identifica la posición del LED correspondiente al ID en la matriz del FlowerBlink. Si el LED se encuentra encendido entonces el mote esta reportando que el cistoflo se vació o la bolsa de suero se reemplazó dependiendo de la situación, en caso contrario la bolsa está a punto de llenarse o el suero de terminarse. Al mismo tiempo las flores de emergencia empiezan a parpadear para llamar la atención de las enfermeras. Utilizamos phidgets (Greenberg y Fitchett, 2001) para implementar el FlowerBlink.

VI.3. Resumen y discusión

En este capítulo se resume el diseño e implementación de dos pantallas ambientales conscientes de la actividad. Primero se discute el concepto de pantallas ambientales ejemplificando el concepto con otros proyectos en UbiComp. Para ejemplificar la factibilidad y aplicabilidad de esta tecnología en hospitales se desarrollaron dos pantallas ambientales que apoyan a las enfermeras en el monitoreo de pacientes. La primera de ellas el ADL Monitor permite monitorear las actividades realizadas por los pacientes cuando una enfermera está en movimiento. La segunda el FlowerBlink es un pantalla ambiental fija que monitorea el control de líquidos de los pacientes y notifica a una enfermera el estado de la bolsa de orina de los pacientes a su cargo.

Debido a que ambas aplicaciones utilizan la actividad como unidad central la integración de ambas involucra exclusivamente actualizar el controlador de actividades para que pueda adaptar la representación de una actividad para ser se muestra por cada uno de los dispositivos –el celular, la pulsera o el florero. Con esta idea en mente y en función a las lecciones aprendidas en la implementación de estas aplicaciones y en su integración, en el siguiente capítulo se describe el diseño de una infraestructura que facilita la implementación y la integración de aplicaciones conscientes de la actividad.

Capítulo VII

AToM: Una infraestructura para el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad

En este capítulo se resume el diseño de una infraestructura para el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad –An Activity-aware anaTomy for ubicomp (AToM). Primero, se discuten los requerimientos para el diseño de esta infraestructura. Posteriormente, se describen los elementos que la componen, incluyendo sus herramientas y servicios. Finalmente, se discute cómo esta infraestructura puede utilizarse para la fácil implementación de aplicaciones conscientes de la actividad.

VII.1. Requerimientos de AToM

En esta sección se discuten los requerimientos que se identificaron para el desarrollo de una infraestructura que permite la creación y evolución de esta anatomía hacia el desarrollo de sistemas conscientes de la actividad.

La infraestructura debe proveer mecanismos robustos para estimar la actividad e inferir otra información contextual

Un elemento central de los escenarios es conocer la actividad ejecutada por el personal médico o por el paciente (i.e., la actividad monitoreada por los trabajadores hospitalarios). Conociendo, esta actividad se puede inferir contexto secundario como la disponibilidad de la persona. Como se ilustra en el escenario II, cuando Carmen busca a una enfermera disponible. Entonces la infraestructura debe de proveer mecanismos para la estimación de esta información –incluyendo la actividad ejecutada, monitoreada y contexto secundario derivado de esta información.

Estos mecanismos deben ser lo suficientemente flexibles para permitir al programador definir máquinas de inferencia incluyendo aquellas basadas en reglas, así como, aquellas

que utilizan algoritmos de reconocimiento de patrones. Independientemente de que el programador puede definir su propia máquina de inferencia, la infraestructura debe incluir diferentes servicios que permitan realizar automáticamente esta inferencia, que se puedan modificar o actualizar fácilmente. Este requerimiento es crucial para el desarrollo de sistemas conscientes de la actividad ya que son la base de la unidad central del sistema de UbiComp.

La infraestructura debe proveer mecanismos flexibles para transformar la información contextual capturada por sensores y dispositivos a una representación estándar

La información contextual como las personas involucradas en una actividad, los artefactos utilizados o la ubicación de una persona, es información contextual relevante y utilizada para inferir la actividad de un usuario (Philipose *et. al.*, 2004; Favela *et. al.*, 2007; Sanchez *et. al.*, 2008). Se han propuesto diferentes soluciones para capturar y monitorear esta información contextual. Estas soluciones incluyen desde aquéllas que utilizan simples sensores como etiquetas RFID hasta sistemas complejos que fusionan la información de diferentes fuentes. Cada fuente entonces tendrá su propia forma de representación de la información sensada, para después, comunicarla a un componente de software. Por ejemplo, mientras una red neuronal genera como salida un vector de datos una etiqueta RFID genera un identificador.

Esta información sensada por diferentes fuentes debe poder unificarse para después transformarse en una actividad computacional. Es por ello que la infraestructura necesita de mecanismos que permitan codificar esta información hacia una estructura de datos estándar entendida por una aplicación consciente de la actividad. La infraestructura deberá permitir a un programador definir etiquetas para los datos sensados por cada fuente (e.g., un lector de RFID). Esta información la administra un protocolo de comunicación flexible.

La infraestructura debe proveer mecanismos para administrar actividades e historias computacionales en una base de conocimiento

Las actividades e historias se deben almacenar y recuperar cuando sean relevantes, como se ilustra en el escenario III, cuando el Dr. Díaz consulta la guía de tiempo de actividades y recupera aquélla que representa la extracción de médula. Es por ello que la infraestructura

debe proporcionar mecanismos que permitan el registro, almacenamiento y administración de actividades e historias en una base de conocimiento. Esta base de conocimiento podrá utilizarse después para crear automáticamente actividades o historias similares. Por ejemplo, en el escenario III, cuando se detecta que una actividad similar a aquella ejecutada por el trabajador hospitalario (i.e., la extracción de médula) esta almacenada en la base del conocimiento.

La infraestructura debe proporcionar mecanismos para definir controladores de actividades computacionales

Una actividad no es autónoma, la ejecuta y controla una persona. Una actividad computacional entonces deberá tener un mecanismo que controle su ciclo de vida y ejecución –como inicia, termina, se suspende o se reanuda. Este mecanismo “controlador” actuará como su sistema de archivos, percibiendo nueva información que indique algún evento relacionado con alguna actividad, procesando dicho evento y tomando una decisión acerca del mismo. Por ejemplo, en los sistemas operativos que conocemos y manejamos (e.g. Windows), si un usuario crea un archivo, el sistema de archivos deberá percibir este evento, tomar la decisión de crear un nuevo archivo y generarlo asignándole un espacio de almacenamiento, nombre y otras etiquetas, como fecha de creación. La infraestructura deberá apoyar al programador a crear estos controladores que funjan como el sistema de archivos de actividades e historias.

Estos mecanismos entonces deberán permitir a los controladores percibir información y actuar en función a la información percibida. El mecanismo de percepción deberá ser capaz de percibir información generada por otro controlador de actividad, directamente de otros dispositivos y servicios o, por el usuario. El protocolo de razonamiento deberá gobernar al controlador y decidir las siguientes acciones que éste ejecutará. Y finalmente, se deberá proveer un conjunto de acciones donde el controlador podrá seleccionar cual ejecutar. Estas acciones las puede definir el programador. La infraestructura deberá proveer mecanismos para también definir controladores de historias.

Basados en estos requerimientos se diseño AtoM, una plataforma que facilita el diseño e implementación de aplicaciones conscientes de la actividad –descrita a continuación:

VII.2. AToM: Una anatomía consciente de la actividad

AToM, por sus siglas en inglés (**A**ctivity-aware **anaT**omy for **U**bico**M**p), es una infraestructura que facilita el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad. AToM utiliza una arquitectura cliente-servidor como base de su implementación y está compuesta por las siguientes capas (ver Figura 34):

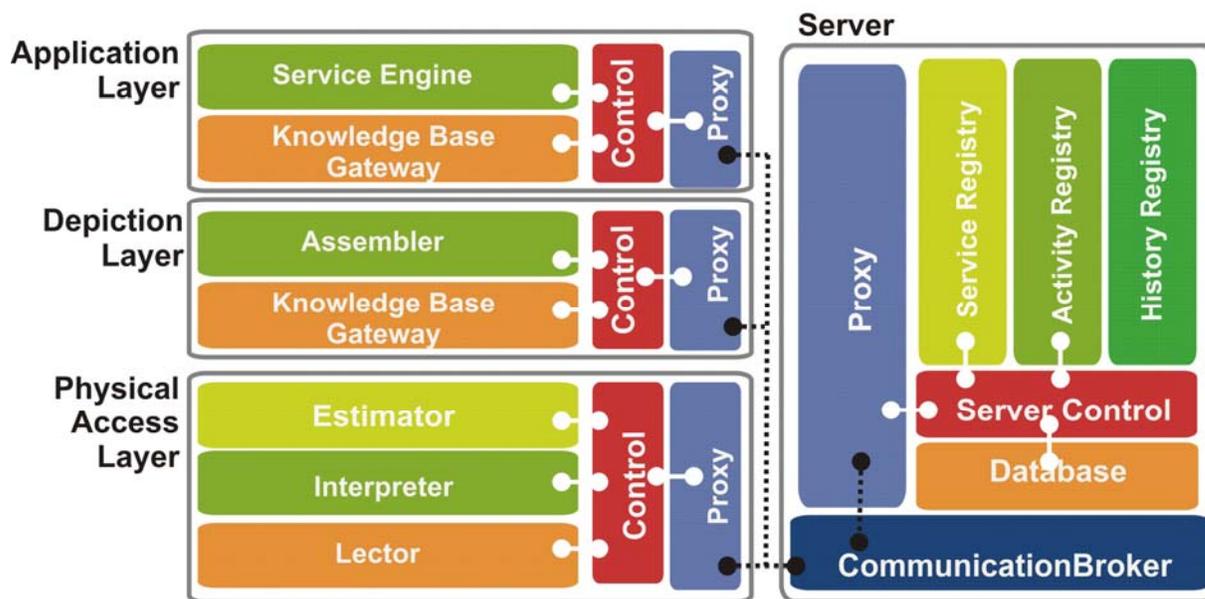


Figura 34. Anatomía de una aplicación consciente de la actividad

VII.2.1. Capa 1: Capa de acceso físico (Physical Access Layer)

La capa física es el primer nivel de las tres capas que componen a un cliente AToM. Su función principal es traducir la información capturada por sensores a un bosquejo de una actividad computacional. La capa física es una capa de bajo nivel y es la capa fundamental de AToM, ya que sobre ésta se basan todas las funciones de alto nivel de la infraestructura. El objetivo de esta capa es transformar los datos brutos sensados por dispositivos físicos a un bosquejo de una actividad. Dado a la enorme cantidad de dispositivos de hardware disponibles con diferentes características para el sensado de información, esta capa es quizá la más compleja en la arquitectura de AToM. La capa de acceso físico esta compuesta de un lector, un transformador y un estimador que en conjunto trabajan para

alcanzar el objetivo de esta capa (Figura 34). Además, esta capa contiene un controlador y un proxy que se encarga de administrar estos componentes, así como, de enviar y recibir información a la capa superior y al servidor.

El *lector* define los medios para traducir datos brutos capturados por sensores en unidades lógicas de información –de la forma de un bosquejo de actividad (ver Figura 35). Para cada uno de los datos leídos por la infraestructura el programador deberá definir un lector que permita acceder a estos datos y los entregue como unidades lógicas al controlador. El *interprete (interpreter)* actúa como un traductor entre el lector y el estimador transformando unidades lógicas de información en bosquejos de actividad (ver Figura 36).

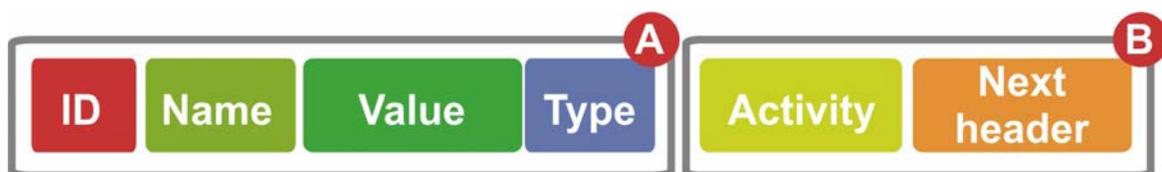


Figura 35. Un Bosquejo de actividad (Activity Sketch) (a) Unidades lógicas de información sensadas por el lector (b) Unidades lógicas de información extraídas por el estimador

Un *bosquejo de actividad* es una primera aproximación de la definición computacional de una actividad y esta formado por seis variables. Los primeros cuatro campos contienen la información de los datos leídos por el lector (i.e., unidades lógicas de información sensadas) mientras que los últimos dos contienen las información inferida por el estimador (i.e., unidades lógicas de información extraídas). El campo *tipo* sirve para especificar el tipo de información que viene empotrada en el bosquejo incluyendo datos, operaciones o reglas. El intérprete crea un bosquejo de actividad cada vez que el lector le notifica la presencia de nueva información y ensambla estas unidades cuando el estimador le notifica el resultado de alguna inferencia. El intérprete crea un bosquejo de actividad conectando unidades lógicas de información e indica en el campo *next header* el encabezado que se muestra en la Figura 2 y que forma parte del bosquejo.

El *estimador (estimator)* es el encargado de inferir la actividad del usuario. Este componente está compuesto por dos métodos para reconocer la actividad. uno que utiliza redes neuronales y otro con cadenas de Markov. Sin embargo el programador puede

especificar otros métodos ya sea utilizando algún otro algoritmo de reconocimiento de patrones o simples reglas basadas en ontologías.

VII.2.2. Capa 2: Capa de representación (Depiction Layer)

La capa de representación es el segundo nivel de las tres capas que componen a un cliente AToM. La capa de representación es responsable de transformar el bosquejo de actividad en una definición de actividad computacional (e-activity) y entregar esta definición a la capa de aplicación para su futuro procesamiento o despliegue (ver Figura 36).

Los primeros tres campos de la e-activity contienen la información con la cual ésta se diferencia de otras e-activities u otros componentes o controladores la refieren (ver Figura 36a). Esta información incluye el identificador de la e-activity (i.e., ID), su nombre (i.e., name) y la persona que la ejecuta (i.e., user). El campo *next header* es un campo especial que se utiliza para indicar si esta actividad es parte de una secuencia resultando en una historia. El siguiente campo corresponde a los *datos útiles* de una e-activity los cuales se pueden atributos o propiedades (ver Figura 36b). Los atributos almacenan información contextual relacionada con la actividad que se está representando, los cuales podrían incluir el usuario que ejecuta la actividad, los artefactos utilizados en la actividad, la ubicación en donde se está ejecutando, etcétera. En contraste, las propiedades de una e-activity almacenan la información de uso de la misma como frecuencia, fecha de creación, modificación y acceso, entre otros –estas propiedades son similares a aquéllas de un archivo común de computadora. El siguiente campo almacena las *operaciones* que componen una e-activity (ver Figura 36c). Estas operaciones se pueden utilizar para especificar como se desplegará la actividad, dónde se almacenará, etcétera. Finalmente, el último campo *policy* es una póliza que almacena un conjunto de reglas que gobiernan las operaciones e información de una e-activity (ver Figura 36d).

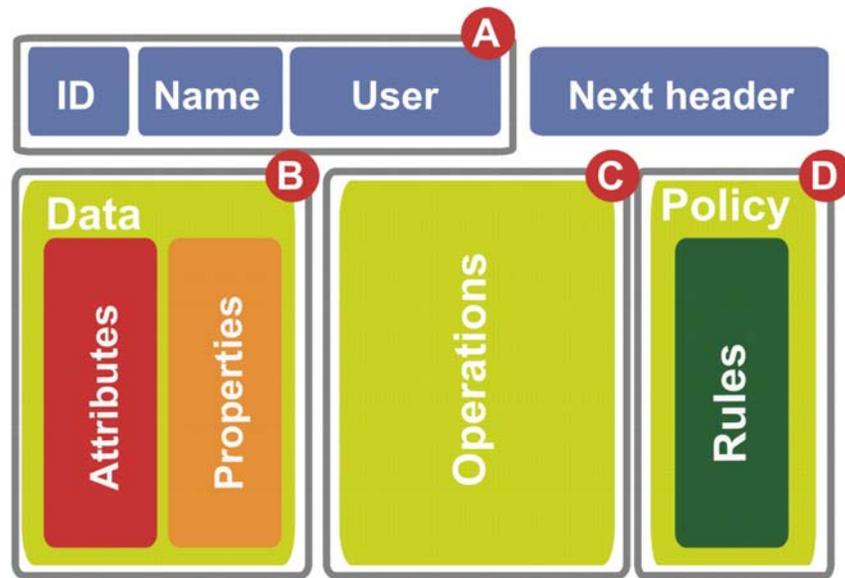


Figura 36. Una e-activity: Definición computacional de una actividad e historia

Para crear estas e-activities, la capa de representación utiliza cinco componentes: dos ensambladores, un controlador, un portal de acceso a la base de conocimiento y un proxy al servidor (ver Figura 34). En tanto que el controlador de esta capa (al igual que en la capa de acceso físico), actúa como el administrador de componentes y el enlace a la capa superior o inferior; el portal de acceso a la base de conocimiento y el proxy, actúan como el enlace al servidor. Estos tres componentes tienen como objetivo principal transmitir y recibir información entre las capas y el servidor.

Por otro lado, los *ensambladores* (*Activity* y *History Assembler*) se encargan de crear una definición computacional de una historia o actividad –e-activity. El ensamblador crea una e-activity conectando bosquejos de actividad en base al campo de tipo del bosquejo y siguiendo un esqueleto de actividad. Un *esqueleto de actividad* almacena la estructura de una e-activity. Existe un esqueleto predefinido por la infraestructura (ver Figura 36) y otros más los puede definir el programador. Estos esqueletos se encuentran almacenados en la base de conocimiento de la infraestructura. Si bien la capa de representación es la responsable de crear e-activities, esta capa descansa en la capa de aplicación la responsabilidad de especificar las diferencias sintácticas en la representación de los datos para cada una de las aplicaciones de usuario finales.

VII.2.3. Capa 3: Capa de aplicación (Application Layer)

La capa de aplicación es la última capa de un cliente AToM. Esta capa tiene como objetivo principal proveer un enlace entre los componentes de la infraestructura y las aplicaciones de usuario –aplicaciones creadas por el programador. Esta capa es responsabilidad del programador y dependerá de las características del entorno en donde la aplicación se ejecutará. Esta capa incluye tres componentes: el motor de servicio, el portal a la base de conocimiento y el proxy al servidor. Al igual que en las otras capas el portal a la base de conocimiento y el proxy son el enlace al servidor; mientras que el motor de servicio funge como el controlador de la capa pero se implementará por el usuario.

VII.2.4. Servidor

El servidor tiene como objetivo principal administrar el conocimiento almacenado en la base de datos, así como ofrecer servicios a los diferentes clientes AToM. El servidor esta compuesto por cinco componentes y una base de datos (ver Figura 34). La base de datos almacena la información relacionada con las e-activities, esqueletos de actividades e historias –información que corresponde al conocimiento de la infraestructura. Esta base de datos la administra el controlador del servidor, quién a su vez recibe e implementa las peticiones hechas por los registros de servicios, actividad e historia. Estos registros proveen los medios para coleccionar, organizar y recuperar conocimiento. El *registro de actividad* es el encargado de administrar el estado de las actividades que están en la base de conocimiento, tanto aquéllas que se encuentra activas como las que no lo están. Asimismo, el *registro de historias* realiza una tarea similar para administrar las historias o secuencias de actividades almacenadas en la base de conocimiento.

Finalmente, el servidor cuenta con un broker de comunicación responsable de la transmisión de solicitudes de los clientes al servidor y la transmisión de respuestas y excepciones de vuelta al cliente. Este broker utiliza el *registro de servicios* para localizar aquéllos clientes que proporcionan un servicio dado al nivel de aplicación.

VII.3. Diseño de AToM

En esta sección se presenta el diseño de AToM que incluye: la definición del ciclo de vida de los controladores, un protocolo de comunicación que permite a los controladores comunicarse con otros controladores, una base de conocimiento, así como, una infraestructura compuesta por servicios y una librería de clases abstractas para facilitar la implementación de aplicaciones conscientes de la actividad.

VII.3.1. Plataforma de comunicación

La infraestructura debe proveer una plataforma de comunicación que permita a los controladores comunicarse:

- con el servidor,
- con otros controladores o,
- con otros servicios que conforman el ambiente de ubicomp.

Esta comunicación debe ser síncrona, permitiendo a los controladores utilizar un mismo lenguaje y canal de comunicación. Para permitir este tipo de comunicación se propone un mecanismo de comunicación basado en el patrón de diseño Broker (Buschmann, 1996). Un broker es un intermediario que traduce un mensaje creado por un emisor a un protocolo de comunicación formal entendido por el receptor y viceversa. Específico de la implementación de este componente el broker en el servidor corresponde a un servidor de mensajería instantánea mientras que los controladores de la infraestructura, para establecer una comunicación persistente con el servidor, implementan un cliente de mensajería instantánea (que corresponde al proxy) –mientras el controlador se este ejecutando.

Entonces, un elemento importante de este esquema de comunicación es su *protocolo*. Por ello diseñamos un protocolo de comunicación codificado en XML (*eXtensible Markup Language*). Elegimos XML debido a las numerosas ventajas que este lenguaje provee sobre otros lenguajes de marcado:

- XML describe la información en un formato comprensible por los humanos –lo cual permite administrar más fácilmente la base de conocimiento

Tabla XX Descripción de los eventos de AtoM generados cuando se percibe nueva información o se solicita la misma

Evento AToM	Descripción	Método utilizado para comunicar información
RequestInfo	Llega una petición de información. Este evento puede ser generado por cualquiera de las capas. Y su contenido puede ser como sigue: <type>: <i>TypeOfRequest</i> –indica que se genero un petición <info>: <i>eActivity, eHistory, sketch, skeleton, context</i> –indica el tipo de información que se esta solicitando	<code>sendRequestInfo ()</code> <message to='controllerA@serverJabber' from='controllerB@serverJabber'> <x xmlns='x:command'><params> <type>TypeOfRequest<type> <info>eActivity</info> // ETIQUETAS DEFINIDAS </params></x></message>
InfoInferred	Llega información inferida. Este evento puede ser generado UNICAMENTE por la capa de acceso físico. Y su contenido puede ser como sigue: <type>: <i>TypeOfInferred</i> –indica que se realizó una inferencia <info>: <i>activity, context</i> –indica el tipo de información que se infirió	<code>sendInfoInferred()</code> <message to='controllerA@serverJabber' from='controllerB@serverJabber'> <x xmlns='x:command'><params> <type>TypeOfInferred<type> <info>activity</info> // ETIQUETAS DEFINIDAS </params></x></message>
InfoCollected	Llega información recopilada. Este evento puede ser generado por la capa de acceso físico o por el portal de la base de conocimiento (capa de representación o aplicación). Y su contenido puede ser como sigue: <type>: <i>TypeOfCollected</i> –indica que se realizó una inferencia <info>: <i>eActivity, eHistory, sketch, skeleton, context</i> –indica el tipo de información que se infirió	<code>sendInfoCollected()</code> <message to='controllerA@serverJabber' from='controllerB@serverJabber'> <x xmlns='x:command'><params> <type>TypeOfCollected<type> <info>skeleton</info> // ETIQUETAS DEFINIDAS </params></x></message>
InfoAssembled	Llega notificación de información ensamblada. Este evento puede ser generado por la capa de acceso físico o por la capa de representación. Y su contenido puede ser como sigue: <type>: <i>TypeOfAssambled</i> –indica que se ensamblo una actividad <info>: <i>eActivity, eHistory, sketch, skeleton</i> –indica el tipo de información que se infirió.	<code>sendInfoAssambled()</code> <message to='controllerA@serverJabber' from='controllerB@serverJabber'> <x xmlns='x:command'><params> <type>TypeOfAssambled<type> <info>skeleton</info> // ETIQUETAS DEFINIDAS </params></x></message>
InfoResponse	Llega la respuesta del estado es una petición. Este evento puede ser generado por cualquiera de las capas. Y su contenido puede ser como sigue: <type>: <i>TypeOfResponse</i> –indica una respuesta a un mensaje <info>: <i>state</i> –indica el estado en que se recibió la información	<code>sendInfoResponse()</code> <message to='controllerA@serverJabber' from='controllerB@serverJabber'> <x xmlns='x:command'><params> <type>TypeOfResponse<type> <info>error</info> // ETIQUETAS DEFINIDAS </params></x></message>
InfoService	Llega la respuesta del estado es una petición. Este evento puede ser generado UNICAMENTE por la capa de aplicación. Y su contenido puede ser como sigue: Y su contenido puede ser como sigue: <type>: <i>TypeOfService</i> –indica que se está ejecutando un servicio <info>: <i>service</i> –indica el tipo de servicio que se está ejecutando	<code>sendInfoService()</code> <message to='controllerA@serverJabber' from='controllerB@serverJabber'> <x xmlns='x:command'><params> <type>TypeOfService<type> <info>service</info> // ETIQUETAS DEFINIDAS </params></x></message>

- Es un formato neutral para bases de datos y dispositivos. Los datos etiquetados con XML se pueden dirigir a diferentes dispositivos utilizando el eXtensible Style Language (XSL)
- Se pueden utilizar herramientas prefabricadas para analizar gramaticalmente lenguajes XML
- XML incorpora ligas que permiten a un mensaje interconectarse con un repositorio de conocimiento
- Este lenguaje lo utilizan exitosamente otras infraestructuras como las base de su plataforma de comunicación (Labrou *et. al.*, 1999; Rodriguez *et. al.*, 2005)

Particularmente, el marco de clases de SALSA utiliza un lenguaje amigable tomando las ventajas de XML para codificar cualquier tipo de mensaje enviado entre agentes extendiendo el protocolo de Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP) de jabber (Jabber Instant Messaging and Presence) –www.jabber.org (Rodriguez *et. al.*, 2005).

Utilizando la misma estructura utilizada por SALSA, se creó un lenguaje expresivo de comunicación que define el tipo de mensajes que se pueden intercambiados entre los componentes de AToM. Al igual que SALSA, se provee a los desarrolladores un API que facilita la creación, envío y recepción de mensajes AToM, donde el contenido del mensaje lo especifica el programador –ya que depende del dominio de aplicación. Para implementar este protocolo, el API de AToM consiste en varios métodos que forman un mensaje a ser comunicado entre componentes (ver Tabla XX).

```
<message to='controllerA@serverJabber'
from='controllerB@serverJabber' >
<x xmlns='x:command' >
<params>
  <type>TypeOfInferred</type>
  <info>activity</info>
  // ETIQUETAS DEFINIDAS
</params>
</x></message>
```

Figura 37. Un mensaje XML notificando la inferencia de una actividad al controlador B

Por ejemplo, el método `sendInfoInferred(controllerB@serverJabber, "activity", "info")` lo utiliza un controlador para notificarle a otro controlador

que se acaba de inferir la actividad de un usuario. Cuando se invoca, se formará un mensaje XML (como se ilustra en la Tabla XX) con etiquetas que especifican a quién se envía el mensaje (controllerB@serverJabber), el tipo de servicio seleccionado (TypeOfRequest), el tipo de información percibida (activity) y los parámetros que conforman esta información (info) (ver Figura 37). El protocolo de comunicación de AToM puede involucrar las siguientes acciones:

Notificar información

En este caso el Controlador A notifica un evento y la información asociada a un evento al Controlador B.

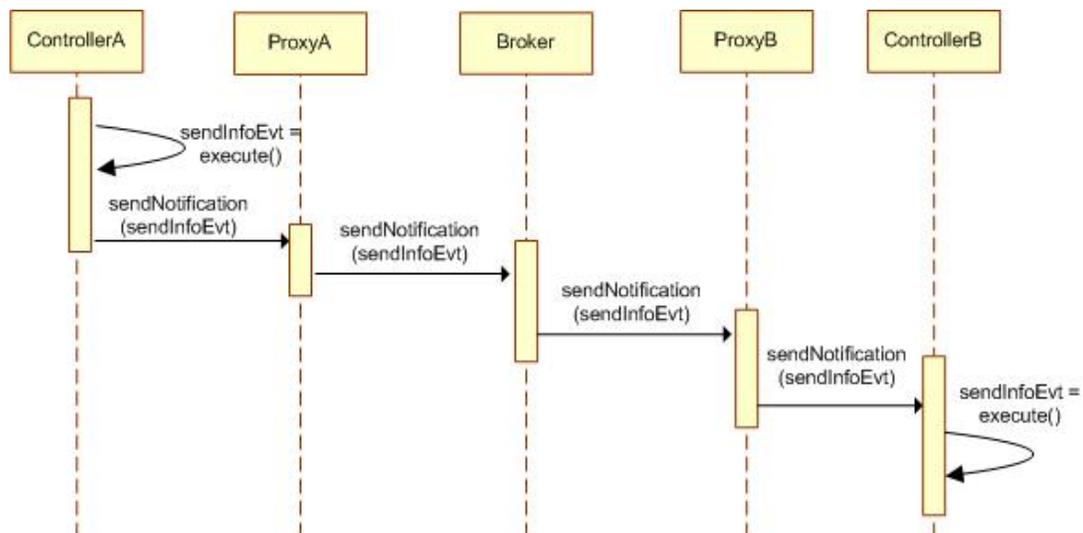


Figura 38. Métodos de comunicación de AToM para la notificación de información

Como se ilustra en la Figura 38, el Controlador A ejecuta una acción la cual generara un evento de notificación como InfoInferred, InfoCollected, InfoAssembled o InfoService. Este evento viaja a través del canal de comunicación pasando por el broker quien se encarga de direccionar el mensaje al destinatario. El ControladorB recibe la información y ejecuta algún evento relacionado con la información recibida.

Solicitar información

En este caso el Controlador A solicita información al Controlador B. Como se muestra en la Figura 39, el Controlador A solicita información al Controlador B a través del método

sendRequestInfo(). Este evento viaja a través del canal de comunicación pasando por el broker quien se encarga de direccionar el mensaje al destinatario. El Controlador B recibe la información y ejecuta algún evento relacionado con la información recibida para satisfacer la petición del Controlador A. Una vez recuperada la información solicitada, el Controlador B notifica la información al Controlador A –siguiendo el flujo de la acción notificar información (ver Figura 38).

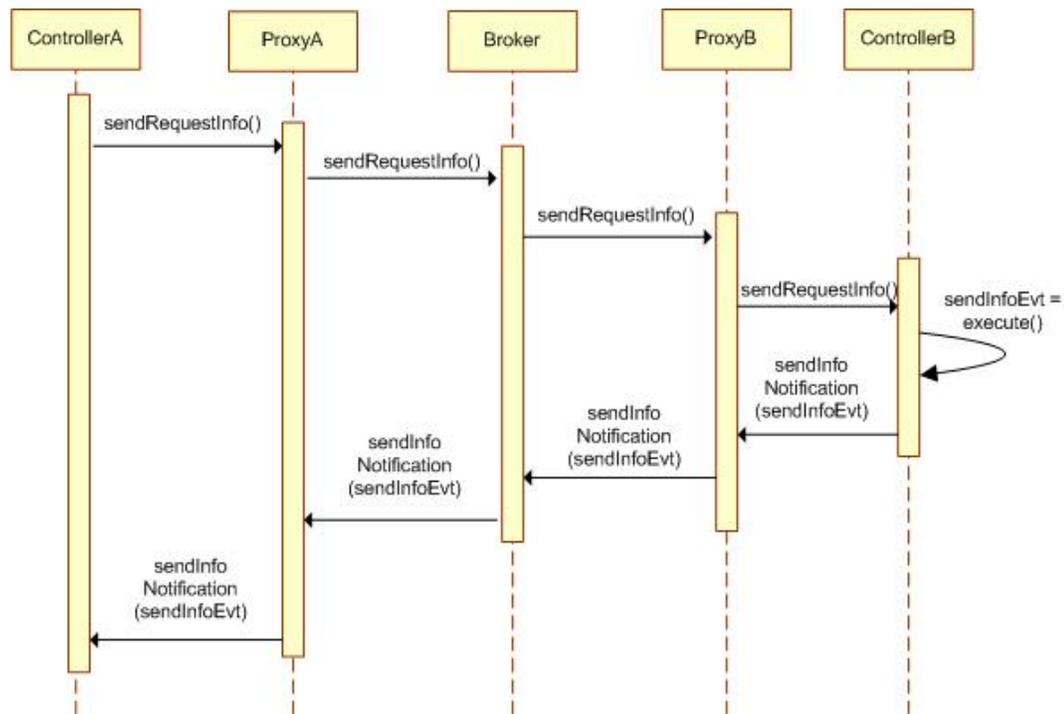


Figura 39. Métodos de comunicación de AToM para la solicitud de información

Como se ilustra la principal desventaja de este esquema de comunicación es el retardo que hay en la entrega de mensajes. Sin embargo, dado que este tipo de aplicaciones serán ejecutadas en dispositivos con pocos recursos, un esquema de este tipo permite distribuir los componentes a través de la red, cuidando los recursos de los dispositivos.

VII.3.2. Estructura de un controlador AToM

Uno de los elementos más importantes de cada componente de la infraestructura AToM son los controladores, los cuales tienen el objetivo de administrar los componentes de cada

capa, así como, de enviar y recibir mensajes entre componentes y el servidor. Dado que todos los controladores tienen la misma función, su estructura interna es la misma y ésta estructura debe especializarse en función a cada capa. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 40a, un controlador AToM está compuesto de un Proxy al broker y puede además contener otros componentes –que dependerán de la capa a la cual el controlador pertenece. Por ejemplo, para la capa de acceso físico el controlador además del broker está compuesto por un lector, un intérprete y un estimador (ver Figura 34). Para administrar estos componentes, un controlador AToM puede tomar los siguientes estados (ver Figura 40b):

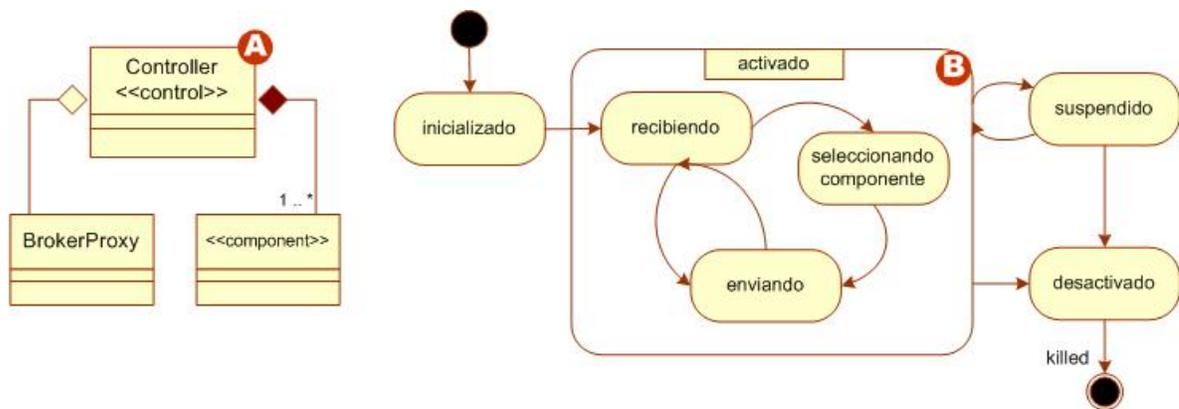


Figura 40. Estructura de un controlador AToM (a) Diagrama de clases de la estructura de un controlador (b) Ciclo de vida de un controlador AToM Inicializado

Inicializado

El controlador entra al estado inicial cuando acaba de ejecutarse y deberá anunciar su presencia al broker de comunicación en el servidor. El broker a su vez notificará a los demás controladores en el ambiente la llegada de este controlador.

Activado

Una vez que el controlador está registrado en el broker, éste entra a un estado de activado. Cuando el controlador se encuentra en este estado, éste es responsable de tomar decisiones acerca del flujo de información y las acciones a seguir. Este super-estado contiene tres sub-estados diferentes:

- *Recibiendo.* Este sub-estado es el estado inicial. Un controlador entra a este estado cuando es activado. En este sub-estado el controlador se encuentra recibiendo mensajes AToM enviados por el servidor o por otros controladores. Por ejemplo,

cuando el controlador de la capa de representación recibe un bosquejo de actividad o el controlador de capa física percibe información de contexto. En función a la información leída, el controlador puede pasar a alguno de los siguientes estados: (1) enviar información o (2) seleccionar componente.

- *Seleccionando componente.* La activación de este estado ocurre cuando, el controlador decide delegar el control a un componente de su capa. Por ejemplo, cuando el controlador de la capa física percibe nueva información de contexto por medio del lector, entonces decidirá seleccionar al componente *intérprete* para que éste cree un bosquejo de actividad con la información sensada.
- *Enviando.* Un controlador entra en este estado cuando decide en función de la información percibida: (1) comunicar información o (2) solicitarla. El controlador entonces puede establecer comunicación con un componente de su misma capa, con un controlador de otra capa o con el servidor.

Suspendido

El controlador en este estado se encuentra vivo pero no se encuentra ejecutando ninguna actividad –esta esperando a ser reactivado. Un controlador entra en este estado cuando delegó el control a otro componente de su capa o a otro controlador y se encuentra esperando por una respuesta. Por ejemplo, en el caso de que el control sea delegado al intérprete el controlador de acceso físico se espera hasta que el intérprete le entregue el nuevo bosquejo de actividad generado.

Desactivado

El estado desactivado corresponde al estado final del controlador. Un controlador entra a este estado cuando ha alcanzado su objetivo y por consiguiente es destruido.

VII.3.3. Librería de clases de AToM

La infraestructura de AToM provee un conjunto de clases para facilitar la implementación de la estructura interna de los clientes AToM y el servidor (ver Figura 41). A continuación

se explica el controlador de cada capa ilustrando cómo el conjunto de clases de AToM facilita el diseño de aplicaciones conscientes de la actividad.

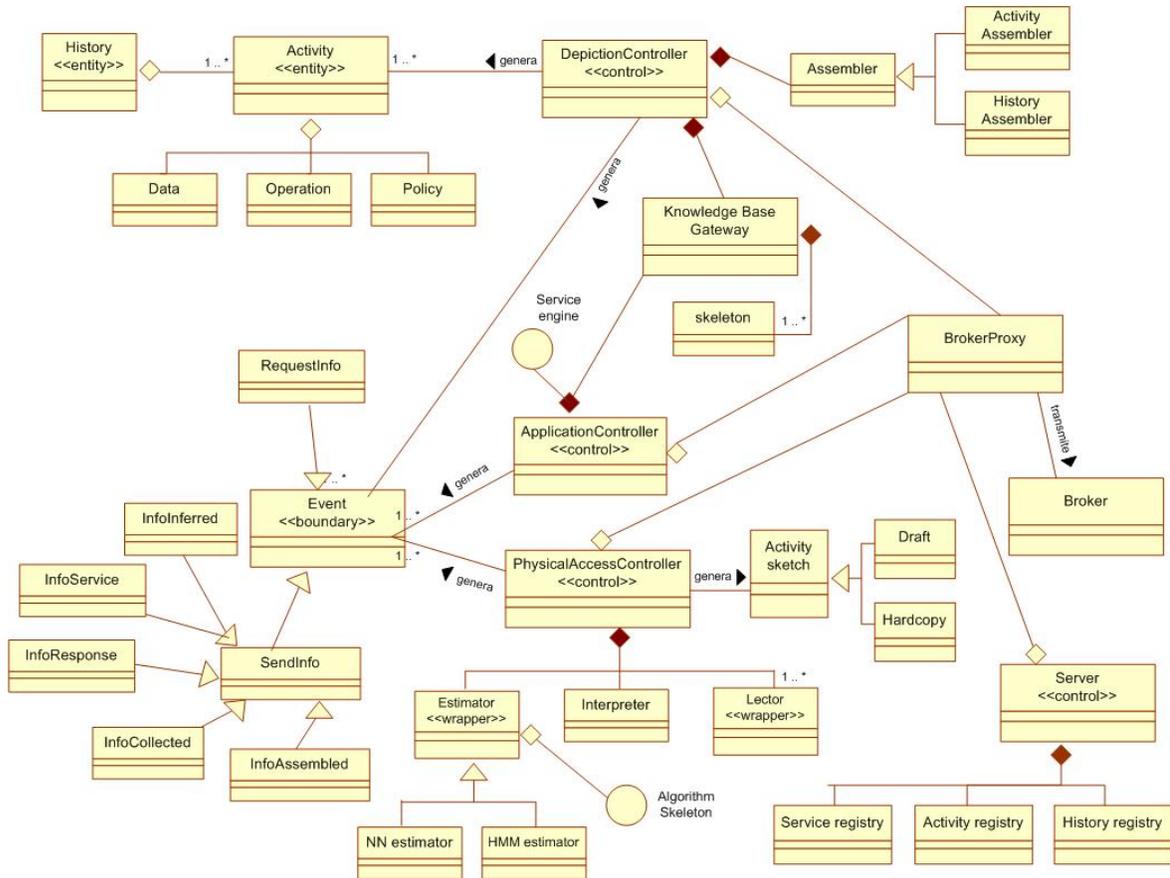


Figura 41. Marco de clases de AToM

Capa de acceso físico: Componentes y su interacción

Como se ilustra en la Figura 42b, el controlador de esta capa está compuesto por el proxy al broker y además tiene uno o más lectores, un estimador y un intérprete. El estimador es una clase de tipo <<wrapper>> con el fin de permitir al programador definir cualquier algoritmo de reconocimiento de actividad o bien utilizar los que la infraestructura provee – el estimador de redes neuronales y el de cadenas de Markov. Además, el programador deberá especificar la estructura de los datos de entrada y salida a estos algoritmos (i.e., el esqueleto del algoritmo) implementando la interface *algorithm skeleton*. El programador además deberá especificar la estructura de la información sensada utilizando la clase lector que también es de tipo <<wrapper>>. Por ejemplo, si se tiene un lector RFID que

identifica la interacción de una persona con artefactos y un algoritmo de localización para estimar la ubicación de una persona, el programador deberá definir un lector para la detección de artefactos y otro más para la detección de ubicación.

La Figura 42a muestra un ejemplo de cómo estos componentes interactúan para generar el bosquejo de actividad a ser transmitido a la capa superior.

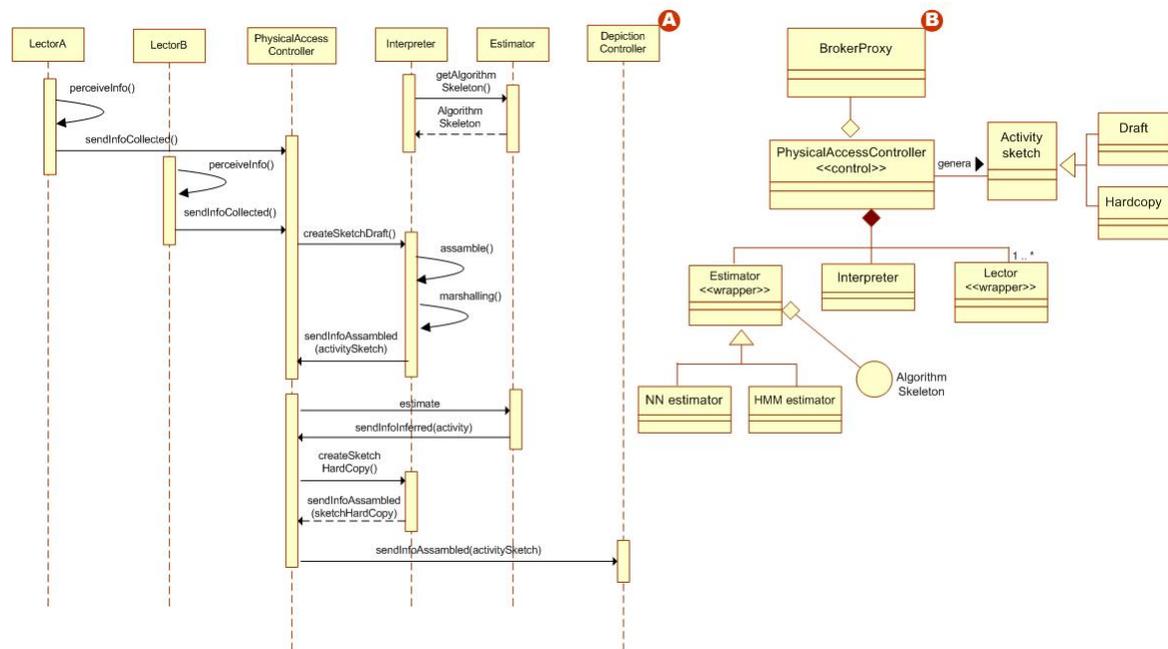


Figura 42. Estructura de la capa de acceso físico (a) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes de la capa para crear un bosquejo de actividad (b) Fragmento del marco de clases de AToM que muestra las clases que componen la capa de acceso físico

El *intérprete* obtiene el esqueleto del algoritmo de estimación de actividad solicitándola al componente *estimador*. El controlador se encuentra suspendido hasta recibir información. El *lectorA* percibe información y se lo notifica al *controlador* generando un evento de tipo *infoCollected* mediante el método *sendInfoCollected()*. Posteriormente, el controlador al recibir esta información decide delegar el control al *interprete* para que éste ensamble un borrador del bosquejo de actividad. Mientras esto sucede, el *lectorB* percibe nueva información y se la envía al controlador. El controlador le notifica al *interprete* quién toma esta información y la ensambla creando un borrador de un bosquejo de actividad – *activitySketchDraft*. Posteriormente, el *intérprete* empaqueta estos datos para enviárselos al *estimador* basándose en el esqueleto del algoritmo. Una vez empaquetados los datos, el

intérprete envía este bosquejo de actividad al controlador quién decide enviárselo al estimador para que proceda con la inferencia. Enseguida el estimador notifica al controlador la actividad inferida en función a la información proporcionada. El controlador le envía esta información al intérprete para que cree el bosquejo de actividad final – activitySketchHardCopy. Finalmente, cuando el intérprete regresa el bosquejo final al controlador, éste le notifica esta información al controlador de la capa superior a través de su proxy.

Capa de representación: Componentes y su interacción

Como se ilustra en la Figura 43b, el controlador de esta capa esta compuesto por el proxy al broker y además tiene una base de conocimiento y un ensamblador. El ensamblador puede ser de tipo actividad o historia y será el responsable de crear las definiciones computacionales de estos elementos –e-activity. El ensamblador utiliza el esqueleto de una actividad y definiciones previas de historias y actividades para generar una e-activity. El esqueleto de una actividad lo define el programador ya que dependerá del dominio de aplicación. Las definiciones previas de historias y actividades son almacenadas por el registro de actividad e historias en el servidor.

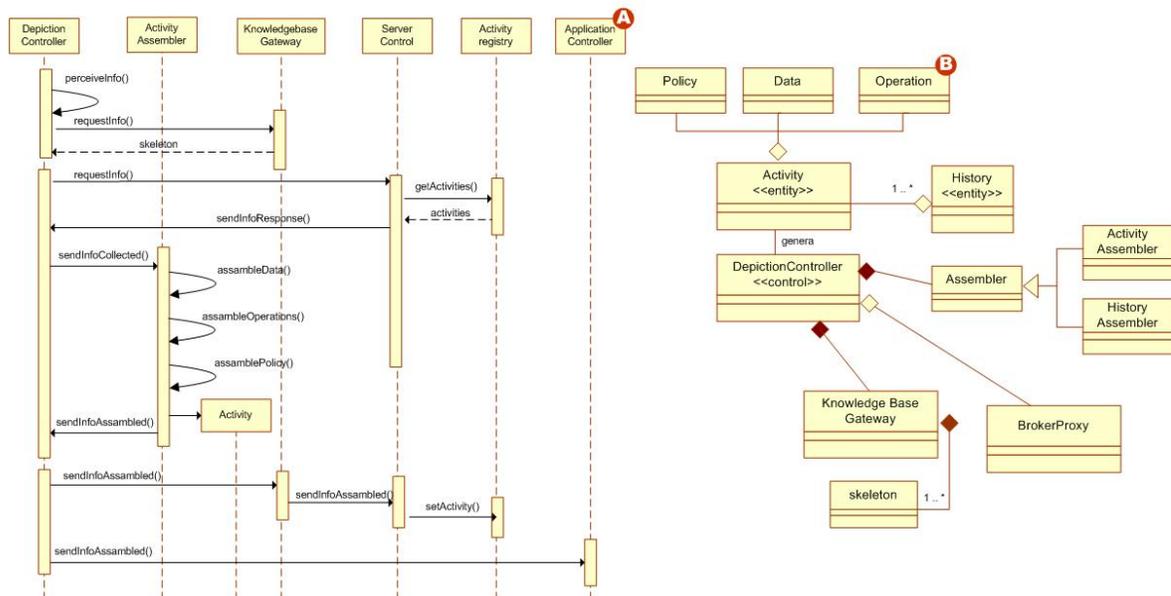


Figura 43. Estructura de la capa de representación (a) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes de la capa para crear un e-activity (b) Fragmento del marco de clases de AToM que muestra las clases que componen la capa de representación

La Figura 43a muestra un ejemplo de cómo estos componentes interactúan para generar una e-activity a ser transmitida a la capa superior y al servidor. El *controlador* percibe un bosquejo de actividad enviado por la capa inferior. Entonces solicita a su *portal de base de conocimiento* el esqueleto de las actividades. Además solicita al *registro de actividad* en el servidor definiciones previas de la actividad que corresponde a aquella especificada en el bosquejo. Una vez recopilada esta información, el controlador la envía al *ensamblador de actividad*. El ensamblador de actividad analiza esta información y crea una e-activity con cada uno de sus elementos –póliza, datos y operaciones. El ensamblador compara el esqueleto con el bosquejo de actividad y con otras actividades previamente ejecutadas por este usuario para definir el estado de esta nueva e-activity. El ensamblador le notifica esta información al controlador. Finalmente, el controlador envía esta información al servidor y a la capa superior para que activen esta actividad y reaccionen consecuentemente. Estos componentes interactúan de manera similar para crear las historias de actividad. La diferencia es que para crear historias el ensamblador debe de esperar a tener una o más actividades en su base de conocimiento.

Capa de aplicación: Componentes y su interacción

Como se ilustra en la Figura 44b, el controlador de esta capa está compuesto por el proxy al broker y además tiene una base de conocimiento y un interface de máquina de servicios (i.e., serviceEngine). Esta *máquina de servicios* es la encargada de realizar las operaciones y aplicar las reglas que conforman una actividad. Esta máquina de servicios entonces dependerá del dominio de aplicación por lo que la tendrá que implementar por el programador. El programador podrá estipular las operaciones y reglas de manera directa en esta interface o definir lectores para que estos elementos sean parte de una e-activity.

A pesar que esta capa es responsabilidad del programador, cada servicio ejecutado se deberá actualizar por el servidor. La Figura 44a muestra un ejemplo de cómo estos componentes interactúan para notificar al servidor la ejecución de un servicio. Cuando el controlador de aplicación percibe nueva información (i.e., una nueva definición de una e-activity o e-history), éste le notifica esta información a la máquina de servicios. La máquina de servicios tendrá la opción de consultar más información en su base de

conocimiento mediante el *portal a la base de conocimiento*. Con esta información se procede a ejecutar el servicio como filtrar la información de una actividad para su futuro despliegue o transferirla a otro dispositivo. Una vez que el servicio se encuentra ejecutando el controlador enviará una notificación al servidor quién actualizará el estado del servicio en su *registro de servicios*.

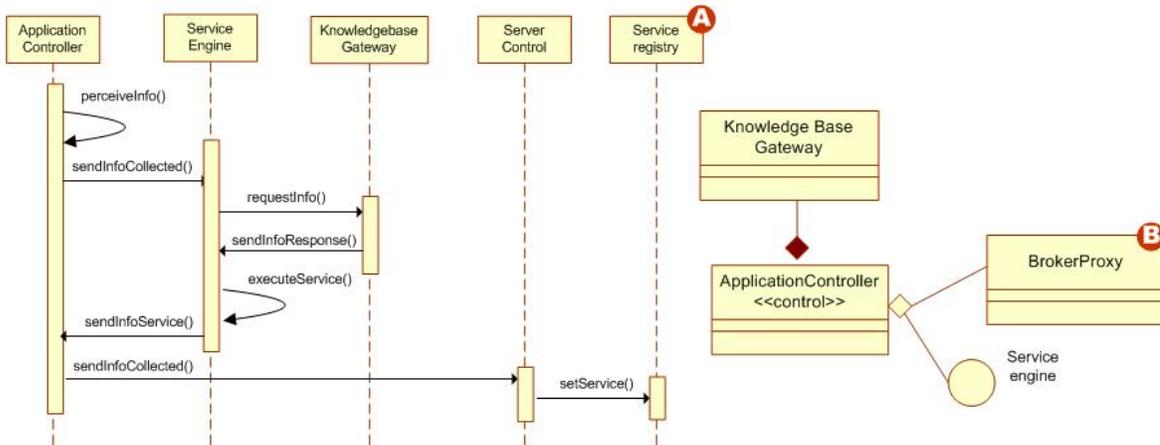


Figura 44 Capa de aplicación (a) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes de la capa para registrar la ejecución de un servicio (b) Fragmento del marco de clases de AToM que muestra las clases que componen la capa de aplicación

El servidor y la base de conocimiento

Como se ilustra en la Figura 44c, el servidor está compuesto por el proxy al broker y una base de conocimiento compuesta por tres registros: el registro de servicios, el registro de actividad y el registro de historias.

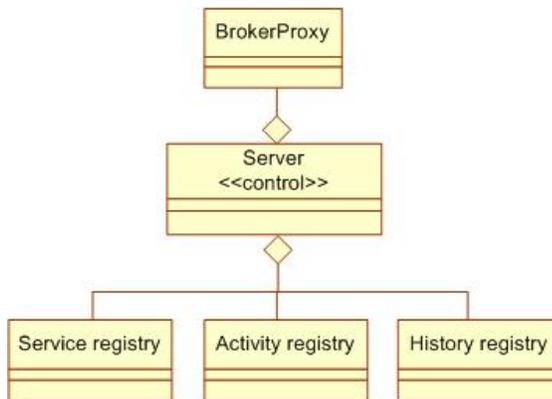


Figura 45. (c) Fragmento del marco de clases de AToM que muestra las clases que componen al servidor

La base de conocimiento es una base de datos que almacena información legible por humanos (i.e., human-readable). El servidor tiene la responsabilidad entonces de administrar esta base de conocimiento mediante la ejecución de las siguientes acciones:

- *Obtener información de la base de conocimiento.* La Figura 44a muestra un ejemplo de cómo los componentes del servidor interactúan para obtener información. El controlador del servidor recibe una petición de información por parte del controlador de algún cliente y selecciona el registro que deberá procesar esta información. Le envía la petición al registro seleccionado y éste empaqueta esta información en un lenguaje entendido por la base de datos –creando una sentencia en SQL. El registro consulta la petición de información a la base de datos para posteriormente desempaquetarla en un elemento entendido por la infraestructura como una e-activity. Finalmente, el registro le notifica esta información al controlador del servidor quién a su vez se la notifica al cliente.

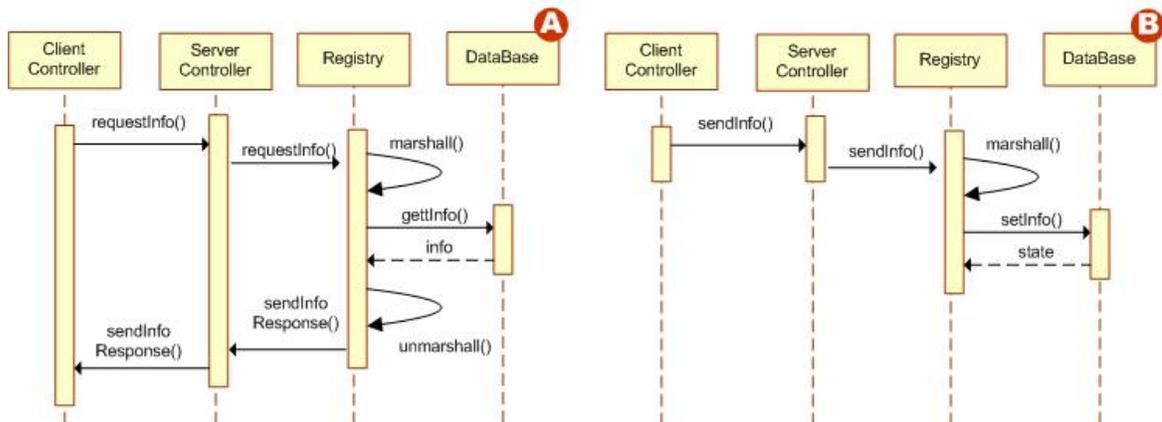


Figura 46 Estructura del servidor (a) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes del servidor para obtener información de su base de conocimiento (b) Diagrama de secuencia que muestra la interacción entre los componentes del servidor para actualizar información de su base de conocimiento

- *Actualizar información en la base de conocimiento.* La Figura 44b muestra un ejemplo de cómo los componentes del servidor interactúan para actualizar información –ejecutando una operación inversa a la anterior. El controlador del servidor recibe una notificación de información por parte de un controlador de algún cliente y selecciona el registro que deberá procesar esta información. Le

envía la notificación al registro seleccionado y éste empaqueta los datos. Después ejecuta esta petición de información a la base de datos quién le regresa el estado de esta ejecución.

La Tabla XXI contiene la descripción genérica de los métodos con acceso a la base de conocimiento. El tener esta definición genérica para administración de la base de datos, permitirá al programador definir sentencias tan complejas como se requiere.

Tabla XXI. Descripción de los métodos de la base de conocimiento

Descripción de la sentencia	Método utilizado para ejecutar la sentencia
Sentencia utilizada para obtener información, donde esta información dependerá de los siguientes parámetros: <fields>: Indica los campos de la base de datos que se desean consultar <registry>: Indica el nombre de la tabla que se desea acceder <search>: Indica el tipo de búsqueda que se requiere	<u>getInfo (fields, registry, search)</u> <pre>select 'fields' from 'registry' where ('search')</pre>
Sentencia utilizada para actualizar información, donde esta información dependerá de los siguientes parámetros: <operation>: Indica el tipo de operación que se ejecutará (update o insert). <fields>: Indica los campos de la base de datos que se desean consultar <registry>: Indica el nombre de la tabla que se desea acceder <search>: Indica el tipo de búsqueda que se requiere	<u>setInfo (operation, fields, registry, search)</u> <pre>'operation' 'fields' from 'registry' where ('search')</pre>

VII.4. Resumen y discusión

En este capítulo se describe una infraestructura que permite la fácil implementación de este tipo de aplicaciones –la infraestructura AToM. Otras infraestructuras o sistemas se han desarrollado con el fin de soportar la actividad como unidad central (Garlan *et. al.*, 2002; Morteo *et. al.*, 2004; Bardram, 2006; Camacho *et. al.*, 2006; Bardram y Christensen, 2007); sin embargo, estas infraestructuras requieren que el usuario defina explícitamente la actividad computacional. En contraste, AToM genera esta definición de manera automática permitiendo a los usuarios interactuar con estas aplicaciones de una manera más natural. Para ejemplificar el uso de AToM, en los siguientes capítulos se presentarán la implementación de dos aplicaciones conscientes de la actividad que apoyan al personal médico durante el monitoreo de pacientes y el seguimiento de sus actividades.

Capítulo VIII

Cómputo consciente de la actividad para la planeación y seguimiento de actividades

En este capítulo se describe el diseño e implementación de un sistema consciente de la actividad que apoya a las enfermeras en la planeación y el seguimiento de sus actividades – el ACD Comic. Primero, se ejemplifica cómo el sistema apoya a las enfermeras en los problemas que enfrentan en su práctica diaria para la planeación de sus actividades. Enseguida, se describe el diseño e implementación del sistema usando AToM. Después, se discute un escenario de uso del sistema ejemplificando cómo interactúan los componentes de la arquitectura. Finalmente, se discuten las lecciones aprendidas y cómo el ACD Comic se distingue de otros sistemas similares reportados en la literatura.

VIII.1. El ACD Comic: Un sistema de seguimiento de planes

En esta sección se describe el diseño e implementación de un sistema consciente de la actividad que permite administrar las tareas pendientes de una enfermera –el ACD comic¹⁵. Este sistema apoya a las enfermeras en la planeación de sus actividades y a las supervisoras en el monitoreo de enfermeras. Para proporcionar estos servicios el ACD Comic esta compuesto por dos aplicaciones –el to-do-list contextual y el activity teller- los cuales se describen a continuación:

El *to-do-list contextual*, es un asistente móvil que administra las tareas que una enfermera tiene pendientes y aquéllas que la enfermera haya realizado –esta aplicación se ejecuta en una PDA (ver Figura 47). Como se ilustra en la figura, el sistema calendariza automáticamente las actividades del cuidado diario (ver Figura 47a). En función a la actividad ejecutada por una enfermera y su disponibilidad, el sistema le notifica a la

¹⁵ El sistema fue nombrado así ya que su objetivo principal es conglomerar las acciones del cuidado diario en una historieta (i.e., comic)

enfermera sus tareas pendientes (ver Figura 47b) o recalendariza su lista de actividades (ver Figura 47d). Por ejemplo, si una enfermera esta ocupada el sistema almacena los mensajes que ella recibe hasta que su disponibilidad cambie –hasta que ella este disponible. La enfermera puede usar el to-do-list para crear nuevas tareas, consultar sus pendientes o consultar las actividades ejecutadas con un paciente –esta información se muestra en la forma de una línea de tiempo (ver Figura 47c).



Figura 47. El to-do-list contextual (a) El to-do-list muestra a una enfermera sus actividades pendientes (b) Una enfermera recibe un recordatorio de una tarea pendiente (c) Una enfermera consulta la historia de las actividades que se han ejecutado con un paciente (d) El to-do-list le notifica a la enfermera que una tarea se ha recalendarizado

El *activity-teller*, es una asistente que apoya a las jefas de enfermería en la supervisión de las actividades ejecutadas por las enfermeras –esta aplicación se ejecuta en una PC o en una pantalla pública. Como se ilustra en la Figura 48, para cada paciente, el sistema muestra las actividades ejecutadas por una enfermera mediante una línea de tiempo. Los colores en el marco de la fotografía ilustran el estado de la ejecución de una actividad. Por ejemplo, la transparencia en una foto indica que las actividades aunque calendarizadas no es tiempo de ejecutarlas. Por ejemplo, las enfermeras realizan la administración de medicamentos a partir de las 10 am después de que el paciente ha comido; a las 9am el marco de esta actividad (i.e., administración de medicamentos) es transparente. El color rojo indica una actividad desfasada, es decir, una actividad que estaba calendarizada pero que la enfermera no ha tenido la oportunidad de ejecutarla. Por ejemplo, si ya son las 11 am y la enfermera no ha ejecutado la actividad de administración de medicamentos su marco se muestra en rojo. Finalmente, el color azul indica que una actividad se realizó en desorden, es decir, que una enfermera deliberadamente decidió ejecutar una actividad antes

que otra ignorando su calendarización. Por ejemplo, si la enfermera empieza a aplicar medicamentos antes de monitorear la dieta del paciente. La enfermera puede utilizar además el activity teller para asociar mensajes a una actividad o reasignar actividades a una enfermera disponible.



Figura 48. Screenshot del activity-teller

Para ejemplificar el uso de este sistema revisitamos el escenario II (descrito en la sección 5.I.1). Este escenario describe cómo el ACD comic le facilita a Rita la planeación de sus actividades y a Carmen en la supervisión de las actividades ejecutadas por Rita.

La enfermera Rita consulta el to-do-list contextual en su PDA visualizando por paciente las lista de tareas calendarizadas para el día –donde al menos se encuentran las siete acciones del cuidado diario incluyendo toma de signos vitales, monitoreo de dieta, administración de medicamentos, cálculo del balance de líquido, realizar procedimientos básicos y quirúrgicos, limpieza al paciente y calidad de atención (ver Figura 47a). El to-do-list contextual le notifica a Rita que es hora de empezar a tomar los signos vitales a sus pacientes (ver Figura 47a). Mientras Rita toma la temperatura del paciente en la cama 228, el médico

de base y los médicos internos llegan al cuarto 226 para valorar al paciente. El to-do-list contextual, consciente de la actividad ejecutada por los médicos, le notifica a Rita que está pendiente un procedimiento quirúrgico con dicho paciente. Rita decide notificarle a los médicos del procedimiento por lo que se traslada al cuarto 226. Todos acuerdan iniciar el procedimiento. Después de un tiempo considerable, Rita continúa apoyando a los médicos en la extracción de médula por lo que el to-do-list contextual recalendariza la lista de tareas de Rita (ver Figura 47b). La jefa de piso Carmen consulta el activity-teller en su PC. Mientras Carmen revisa al paciente 226, ella se percató que no se ha bañado al paciente, por lo que decide reasignar las actividades desfasadas de dicho paciente a alguna enfermera disponible en el piso (ver Figura 48). Después de un tiempo, Rita termina el procedimiento y su to-do-list contextual le notifica sobre las actividades que fueron recalendarizadas mostrándolas en una línea de tiempo (ver Figura 47c). Rita también recibe en su PDA el mensaje enviado por Carmen.

VIII.1.1. Servicios del ACD Comic

Las aplicaciones que conforman al ACD Comic permiten la rápida planeación de actividades facilitando el seguimiento y monitoreo de las mismas. En las siguientes líneas se describe cómo estas aplicaciones trabajan en conjunto para soportar los siguientes servicios.

Creación automática de actividades e historias

Uno de los principales problemas en el uso de los sistemas de planeación de tareas (como calendarios o listas de tarea) es el tiempo que los usuarios invierten en crear las tareas y calendarizarlas. Inclusive se ha reportado en la literatura que los usuarios no configuran las aplicaciones por que no quieren invertir tiempo en preparar el sistema computacional para que satisfaga sus necesidades o inclusive no saben cómo hacerlo (Mackay, 1991). Un sistema que está consciente de la actividad puede realizar esta tarea de manera automática por el usuario mitigando estos problemas de configuración. El ACD Comic consciente de la actividad permite preinstalar actividades. Por ejemplo, como se muestra en el escenario,

cuando Rita al inicio de su turno revisa su PDA y seis de las acciones del cuidado diario están calendarizadas con sus pacientes. Además, el conocer la actividad permite crear una nueva tarea en función a la actividad estimada sin requerir un esfuerzo adicional de la enfermera. Por ejemplo, si la enfermera entra a una clase y esta actividad no está programada en su lista, el sistema al detectar la actividad de la enfermera agrega esta actividad a su lista de tareas. Las historias, al igual que las actividades, se crean de manera automática por el sistema para ser después se muestran a la enfermera. Por ejemplo, como se ilustra en el escenario, cuando Carmen consulta las actividades realizadas por Rita, o Rita consulta las actividades realizadas al paciente 226. Esto reduce el tiempo y esfuerzo que una enfermera invierte en configurar su lista de tareas y al mismo tiempo permite crear una base de conocimiento que contiene información de los patrones de actividades de las enfermeras; es decir, de cómo realmente se ejecutan sus actividades.

Adaptación de planes basados en actividad

La mayoría de las aplicaciones para planeación de actividades no se adaptan a los diferentes cursos de acción ejecutadas por las enfermeras. Por ejemplo, cuando Rita decide ejecutar primero la extracción de médula en lugar de la actividad que está calendarizada en su lista de pendientes. Esto puede ocurrir muy frecuentemente debido a los cambios dinámicos del contexto, en este caso por ejemplo la presencia y actividad ejecutada por los médicos con ese paciente. El ACD comic entonces toma en cuenta la actividad para adaptar su contenido, logrando así que la actividad humana preceda a la actividad computacional –a diferencia de un workflow en donde el sistema le dicta a un usuario la manera en que éste debe de ejecutar sus actividades. Además, toda la información se muestra por el ACD comic está relacionada con una actividad (como la línea de tiempo o la lista de tareas). Esto permite a una enfermera localizar la información relevante a su actividad más rápida y fácilmente y al mismo tiempo, permite al sistema identificar la información relevante y el momento oportuno para presentarla. Por ejemplo, una enfermera utilizando el ACD Comic al consultar la actividad de toma de signos vitales puede visualizar el mensaje enviado por Carmen mientras que el sistema puede decidir notificarle a Rita sus pendientes hasta que termine de realizar el procedimiento quirúrgico.

Envío oportuno de notificaciones

La movilidad y la colaboración generan la necesidad de contactar colegas dentro del hospital, ya sea para ejecutar un procedimiento en conjunto o notificar a otros de pendientes en el área. Sin embargo, las aplicaciones desarrolladas para ayudar en esta tarea, no están conscientes de las barreras sociales que impactan el uso de las mismas, como recibir una notificación cuando alguien está ocupado. Si el sistema estuviera consciente de la disponibilidad del usuario, puede utilizar esta información para negociar interrupciones en tiempo apropiados. Como se ilustra en el escenario, el ACD Comic le notifica a Rita que una de sus actividades ha sido recalendarizada en un periodo de tiempo oportuno –cuando ella termina de realizar el procedimiento quirúrgico. Además, el ACD Comic le permite a la jefa de piso Carmen seleccionar a la enfermera disponible para la reasignación de tareas. El tomar en cuenta la información de disponibilidad permite entonces que estas notificaciones se realicen en el momento oportuno sin perturbar al usuario.

VIII.2. Diseño e implementación del ACD Comic

En esta sección se describen los componentes de software que integran el ACD Comic, así como, su interacción para proveer los servicios discutidos. La Figura 49 muestra la arquitectura del ACD Comic.

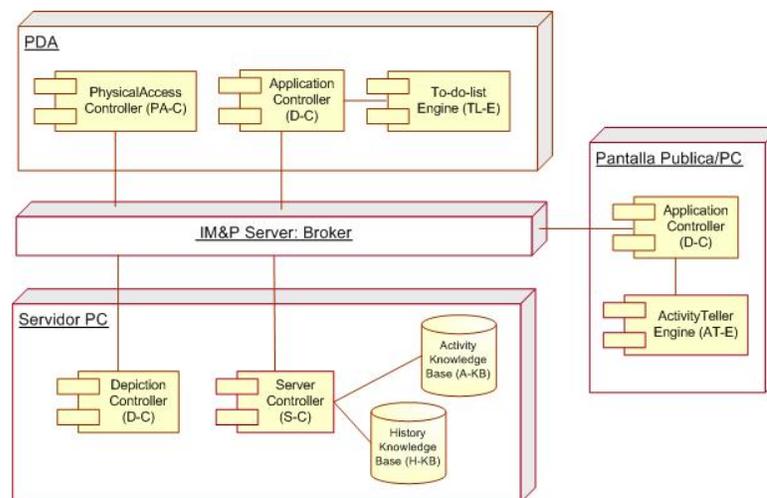


Figura 49. Arquitectura del ACD Comic

Como se ilustra en la figura, el sistema está compuesto por siete componentes y dos bases del conocimiento. De los siete componentes, cinco corresponden a los controladores propuestos por la infraestructura AToM: el controlador de acceso físico (PA-C), el controlador de representación (D-C), el controlador del servidor (S-C) y dos controladores de aplicación (A-C). Los otros dos componentes son máquinas de servicio las cuales implementan la funcionalidad del to-do-list contextual y el activity teller –estos componentes los desarrolla por completo el programador (a diferencia de los componentes de las otras capas). Las dos bases del conocimiento almacenan las actividades e historias computacionales. A continuación se describen con detalle estos componentes:

VIII.2.1. PhysicalAccessController (PA-c)

Este controlador tiene el objetivo de leer información de sensores y transformarla en un bosquejo de actividad. Para ello, el programador deberá especificar la estructura de los lectores que capturan contexto primario y el algoritmo de reconocimiento de actividad –en caso que no se usen los proporcionados por AToM. Este controlador es un demonio que se ejecuta en el dispositivo que percibe el contexto primario de sensores –como un lector RFID para detectar los artefactos utilizados por una persona.

Los lectores del ACD Comic

Para la implementación del ACD comic, se especificaron dos lectores, el lector de artefactos y el lector de personas¹⁶. El lector de artefactos es un lector que lee el ID de las etiquetas RFID adheridas a los artefactos. Mientras que el lector de personas utiliza el componente de localización reportado en (Castro y Favela, 2008) para detectar la presencia de una persona por proximidad. La Figura 50 muestra el código para crear el lector de artefactos. Para definir el lector, el programador deberá de implementar la clase *Reader* en la cual deberá crear una instancia de la clase *PhysicalAccessController* (controlador de la capa de acceso física) para poder obtener los servicios que esta capa provee. Por ejemplo, para comunicar información a otros componentes en el sistema a través del proxy de la

¹⁶ La lectura de sensores es una simulación de posibles lecturas, ya que la tecnología no fue implantada

capa. Como se ilustra en la Figura 50a, el artefacto utilizado por una enfermera se obtiene de una función aleatoria. Una vez que la información se percibe el programador deberá crear el mensaje a ser empotrado en el método `sendInfoCollected()` para comunicar la percepción de información al controlador de la capa. En este mensaje se especifican los valores leídos por el sensor, como muestra la figura, el nombre, el valor y el tipo.



Figura 50. Elementos de la capa de acceso al físico (a) Segmento de código que muestra la implementación del lector de artefactos (b) Un bosquejo de actividad que indica el uso del artefacto termómetro y barómetro (c) Un bosquejo de actividad que indica el uso de artefacto barómetro (d) Un bosquejo de actividad que indica la actividad de toma de signos vitales

Un bosquejo de actividad para la toma de signos vitales: el borrador y la copia final

Después que el controlador recibe la notificación, éste crea un bosquejo de actividad de tipo borrador (i.e., sketch draft) que representa una primera aproximación de una actividad computacional. Como se ilustra en la Figura 50b, donde se muestra un bosquejo de actividad indicando que una persona está utilizando el artefacto termómetro –según la información que el lector percibió. Note que para este bosquejo de actividad el campo `nextheader` tiene un id, indicando que hay más información contextual percibida. En este caso indica que la enfermera se encuentra utilizando el termómetro e interactuando con un paciente (ver Figura 50c) –el controlador de esta capa administra los encabezados (campo `nextheader`) de manera transparente al programador. El controlador transfiere esta información al estimador para que éste infiera la actividad que la enfermera está ejecutando. Una vez que se infirió una actividad, con cierto nivel de precisión, el

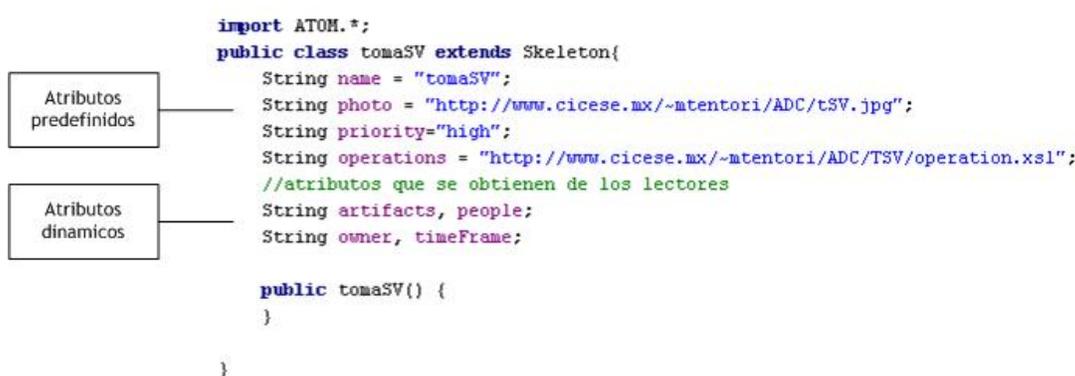
controlador transforma el sketch draft a un bosquejo de actividad tipo copia final (i.e., sketch hardcopy). La Figura 50d muestra un sketch hardcopy de la actividad toma de signos vitales. Como se puede visualizar, una enfermera utiliza un termómetro e interactúa con un paciente, por lo que, el algoritmo de reconocimiento de actividad infirió que la enfermera se encuentra realizando la actividad de toma de signos vitales. Una vez que se tiene un sketch hardcopy el controlador le notifica a la capa superior la presencia de una nueva actividad para que ésta capa realice su representación.

VIII.2.2. DepictionController (D-c)

El objetivo de esta capa es realizar la representación de una actividad computacional a partir de un bosquejo de actividad. Para ello el programador deberá definir lo siguiente:

Un esqueleto de actividad

El programador puede definir un esqueleto por cada una de las actividades del sistema con el fin de proveer la información que el controlador necesita para seleccionar adecuadamente los elementos que conforman una actividad computacional. Por ejemplo, la actividad toma de signos vitales esta compuesta por una imagen representativa, un id, personas involucradas, entre otros atributos –esta información deberá de coincidir con los campos de tipo definidos en los lectores. La Figura 51 muestra un segmento de código para definir el esqueleto de una actividad.



```

import ATOM.*;
public class tomaSV extends Skeleton{
    String name = "tomaSV";
    String photo = "http://www.cicese.mx/~mtentori/ADC/tSV.jpg";
    String priority="high";
    String operations = "http://www.cicese.mx/~mtentori/ADC/TSV/operation.xml";
    //atributos que se obtienen de los lectores
    String artifacts, people;
    String owner, timeFrame;

    public tomaSV() {
    }
}

```

The diagram shows a code snippet for a Java class named `tomaSV` that extends `Skeleton`. The code is annotated with two boxes on the left: 'Atributos predefinidos' (predefined attributes) and 'Atributos dinamicos' (dynamic attributes). Lines connect these boxes to specific lines of code. 'Atributos predefinidos' points to the initialization of `name`, `photo`, `priority`, and `operations`. 'Atributos dinamicos' points to the declarations of `artifacts`, `people`, `owner`, and `timeFrame`. The code also includes a constructor `tomaSV()` and a comment indicating that some attributes are obtained from readers.

Figura 51. Segmento de código que muestra la actividad de toma de signos vitales

Como se ilustra, el programador deberá definir los atributos que contendrá cada una de las actividades y también podría definir las operaciones. El programador podrá decidir

clasificar esta información como *pre-definida o dinámica*. En el caso de la información predefinida el programador deberá explícitamente indicar los valores que los atributos podrán tomar. Por otro lado, la información *dinámica* se obtendrá del sketch hardcopy el cual es directamente generado por los lectores de la capa de acceso al físico. Como se ilustra en la Figura 51, para la actividad de toma de signos vitales se definió como información predefinida un nombre, una foto representativa, una prioridad y un periodo de tiempo ideal para su ejecución. Además, se definió un archivo xsl que contiene una operación que se puede ejecutar sobre esta actividad. En este caso la operación indica un umbral para el cual la actividad cambia de prioridad. Por ejemplo, si después de una hora la enfermera no ha realizado una actividad calendarizada, el sistema incrementa su prioridad. Además, el programador estipuló dos atributos dinámicos cuya información se obtendrá del bosquejo de actividad. Para el caso del esqueleto de la toma de signos vitales se incluye las personas involucradas y los artefactos utilizados.

Una actividad e historia computacional

Una vez que se tiene el esqueleto y se recibe un *sketch hardcopy* el contralador de representación, transforma la información en este esqueleto en una actividad computacional –esto nuevamente es transparente para la programadora y la funcionalidad la ejecuta la infraestructura AToM. La infraestructura entonces reformateando el *sketch hardcopy* en función a los atributos especificado en el *skeleton* crea una actividad computacional. En el caso que para una actividad no se haya definido un esqueleto –por que no fue identificada por el programador, pero si por el algoritmo de reconocimiento- el sketech hardcopy se utiliza como esqueleto.

La Figura 52 muestra la definición de dos actividades computacionales: la actividad de toma de signos vitales y monitoreo de dieta. Como se muestra en la Figura 52, la actividad de toma de signos vitales indica que la enfermera Rita ejecutó esta actividad de 9am a 10am utilizando un termómetro con valor 40 y 35 con los pacientes 226 y 228. También, indica que Rita estaba disponible durante la ejecución de esta actividad. Además, la actividad puede representarse de dos maneras una a través de una imagen y la otra mediante la conjunción de la información contextual proporcionada. Además, se indica que

se puede aplicar una operación a la actividad –dicha operación se encuentra almacenada en un repositorio. Además, la actividad tiene una prioridad “alta” por lo que es de vital importancia que se ejecute en el marco de tiempo definido. Por otro lado, la actividad computacional de toma de signos vitales indica que Rita ha ejecutado esta actividad 20 veces mientras que el total de enfermeras la han ejecutado 100. Finalmente, esta actividad forma parte de una historia donde la actividad que le procede es “ejecutar procedimientos quirúrgicos” (ver Figura 52). Estas dos actividades en conjunto forman una historia computacional ya que el campo nextheader de alguna de ellas está activado.

```

<Activity>
  <atributes>
    <id>1</id>
    <name>tomaSV</name>
    <owner>rita</owner>
    <photo>http://www.cicese.mx/~mtentori/ADC/tSV.jpg</photo>
    <type>atributes</type>
    <priority>medium</priority>
    <nextheader>2</nextheader>
    <timeFrame>9am-10am</timeFrame>
    <dynamic>
      <patient>226</patient>
      <termometer>40</termometer>
      <patient>228</patient>
      <termometer>35</termometer>
    </dynamic>
  </atributes>
  <properties>
    <generalUse>100</generalUse>
    <ownerUser>20</ownerUser>
  </properties>
  <operations>
    <opl>
      <xxl:template match="activity">
        <xxl:if test="@termometer > 39">high</xxl:if>
      </opl>
    </operations>
  </Activity>

```

```

<Activity>
  <atributes>
    <id>2</id>
    <name>dieta</name>
    <photo>http://www.cicese.mx/~mtentori/ADC/dieta.jpg</photo>
    <type>atributes</type>
    <priority>low</priority>
    <nextheader>3</nextheader>
  </atributes>
  <propoerties>
    <generalUse>1</generalUse>
    <ownerUser>1</ownerUser>
    <userUse>1</userUse>
  </properties>
</Activity>

```

Figura 52. Elementos generados por la capa de representación (a) Actividad computacional de toma de signos vitales (b) Historia computacional de las acciones del cuidado diario

Una vez que se tienen las definiciones de actividades o historias, el controlador las actualiza en la base de conocimiento y las notifica a los demás controladores de la capa superior –la capa de aplicación.

VIII.2.3. To-do-list engine (TL-e)

Esta máquina de servicio contiene la funcionalidad del to-do-list contextual el cual muestra la lista de actividades, notifica mensajes pendientes de manera oportuna y recalendariza las actividades. Esta máquina de servicio la implementa el programador quien deberá definir una instancia del controlador de la capa de aplicación –como se realizó en la capa de

acceso al medio. A continuación se describe un escenario en donde se muestran como los componentes interactúan para proporcionar estos servicios (ver Figura 53):

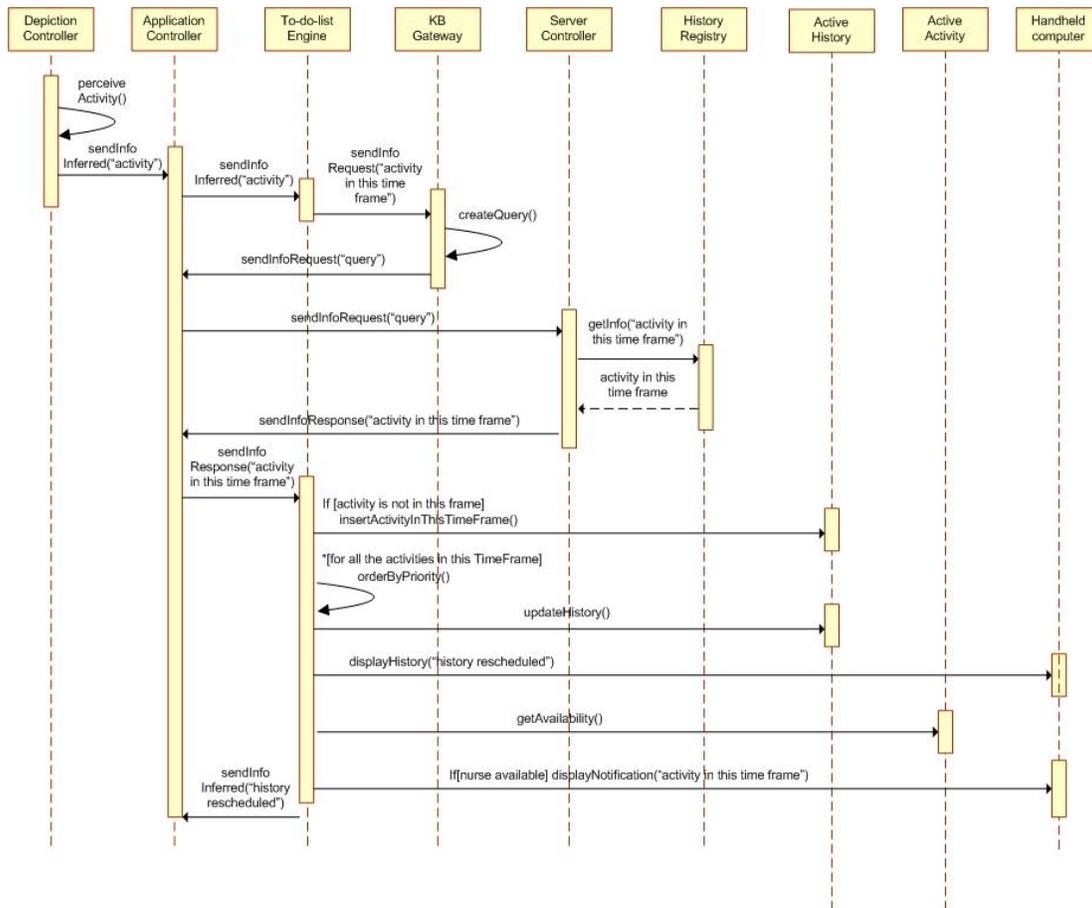


Figura 53 Diagrama de secuencia que muestra la calendarización de un historia computacional

Una vez que el *DepictionController* percibe una actividad, éste la comunica a la capa de aplicación del to-do-list utilizando el método *sendInfoInferred()*. (El *DepictionController* comunica esta información a todos los controladores de aplicación; sin embargo, en este escenario sólo se ilustra la funcionalidad para el controlador del to-do-list). El *ApplicationController* a su vez le comunica esta información al *to-do-list engine* quien decide empezar con la recalendarización de la actividad –si es que es necesaria; si no lo es, el sistema actualiza la historia activa. Enseguida, el *to-do-list engine* solicita a la base de conocimientos la actividad que se debe ejecutar según la calendarización de las actividades de la enfermera –el marco de tiempo en que esta actividad se debe ejecutar. Para solicitar

esta información, el *to-do-list* utiliza el *knowledgebase gateway* del *ApplicationController*. El *KB gateway* crea entonces una sentencia para preguntar a la base de conocimientos la actividad que la enfermera debería de estar ejecutando. Para solicitar esta información el *KB gateway* envía la sentencia dentro del método *sendInfoRequest()* al *ServerController* quien a su vez le notifica la información al *KB gateway* a través del método *sentInfoResponse()*. En este caso el *to-do-list engine* utiliza la base de conocimiento para obtener más información acerca de esta recalendarización. Por ejemplo, si hubiera una historia almacenada en la base de conocimiento similar a la ejecutada actualmente por la enfermera, se sobrescribe la historia calendarizada. En este caso la base de conocimiento proporciona evidencia que justifica la decisión tomada por el algoritmo de recalendarización del *ApplicationController*. Si no se encontró una historia similar y la actividad que la enfermera está ejecutando actualmente no coincide con la calendarizada, el *ApplicationController* agrega la actividad ejecutada por la enfermera en la historia activa –la historia que contiene las actividades que la enfermera ha ejecutado hasta el momento. Posteriormente, para todas las actividades calendarizadas afectadas por este marco de tiempo, el *ApplicationController* las reordena según su prioridad.

Por ejemplo, suponga que la actividad toma de signos vitales esta calendarizada de 8 a 9am con una prioridad media, enseguida se tiene calendarizada la actividad de proporcionar calidad de atención de 9 a 10am con prioridad baja, y finalmente, se tiene calendarizada la actividad de administración de medicamentos con prioridad alta de 10 a 11am; si la enfermera se retrasa una hora en la actividad toma de signos vitales, el sistema invertiría el orden de administración de medicamentos por proporcionar atención. Después de la recalendarización la lista de tareas quedaría como sigue: la actividad de toma de signos vitales se ejecutó de 8 a 10am, la actividad de administración de medicamentos se está ejecutando de 10 a 11am, y la actividad de calidad de atención está programada de 11 a 12am.

Después, el *to-do-list engine* actualiza la historia recalendarizada y la despliega. Además, consulta la disponibilidad de la enfermera para decidir notificarle acerca de la recalendarización. Si la enfermera está disponible el sistema le envía la notificación, en caso contrario, éste almacena la notificación en el repositorio de mensajes a ser

desplegados cuando la enfermera este disponible –es decir, cuando ella inicie la ejecución de una actividad con disponibilidad alta. Finalmente, el *to-do-list engine* le notifica la creación de una nueva historia al *ApplicationController* para que a su vez notifique esta información al servidor para su actualización en la base de conocimiento.

La última funcionalidad proporcionada por esta máquina de servicios es precargar las actividades del cuidado diario en la PDA de una enfermera. Esta funcionalidad es muy similar a la manera en que el *to-do-list* solicita información a la base de conocimientos – como se ilustró en el ejemplo anterior. La diferencia es que en este caso el *to-do-list engine* utiliza las propiedades de las actividades computacionales para saber seleccionar la rutina más adecuado por enfermera. Por ejemplo, si una enfermera inicia su turno siempre con la toma de signos vitales, el campo de <<OwnerUse>> en la actividad computacional tendrá un valor muy alto. Esto la colocaría en la cima de las demás actividades almacenadas en la base de conocimientos. Note que además el campo de <<GeneralUse>> tendría entonces un impacto importante si es que no existe evidencia de manera personalizada. Por ejemplo, si el campo de <<OwnerUse>> de la actividad de toma de signos vitales tiene un valor de 10 y el campo de <<OwnerUser>> para la actividad de administración de medicamentos tiene un valor de 9, no existe evidencia significativa, que indique que la enfermera debe empezar su turno con la actividad de toma de signos vitales. Es entonces donde el campo de <<GeneralUse>> puede apoyar a la máquina de servicio para tomar esta decisión. Es decir, la mayoría de las enfermeras además inician con la actividad de toma de signos vitales, entonces, esa será la primera actividad seleccionada.

VIII.2.4. ActivityTeller engine (TL-e)

Esta máquina de servicio contiene la funcionalidad del *activity teller*, el cual muestra a las jefas de enfermería las actividades realizadas por una enfermera facilitando la supervisión del área. Esta máquina de servicio la implementa el programador, quién deberá definir una instancia del controlador de la capa de aplicación –como se realizó con el *to-do-list* contextual. A continuación se describe en detalle las operaciones de esta máquina:

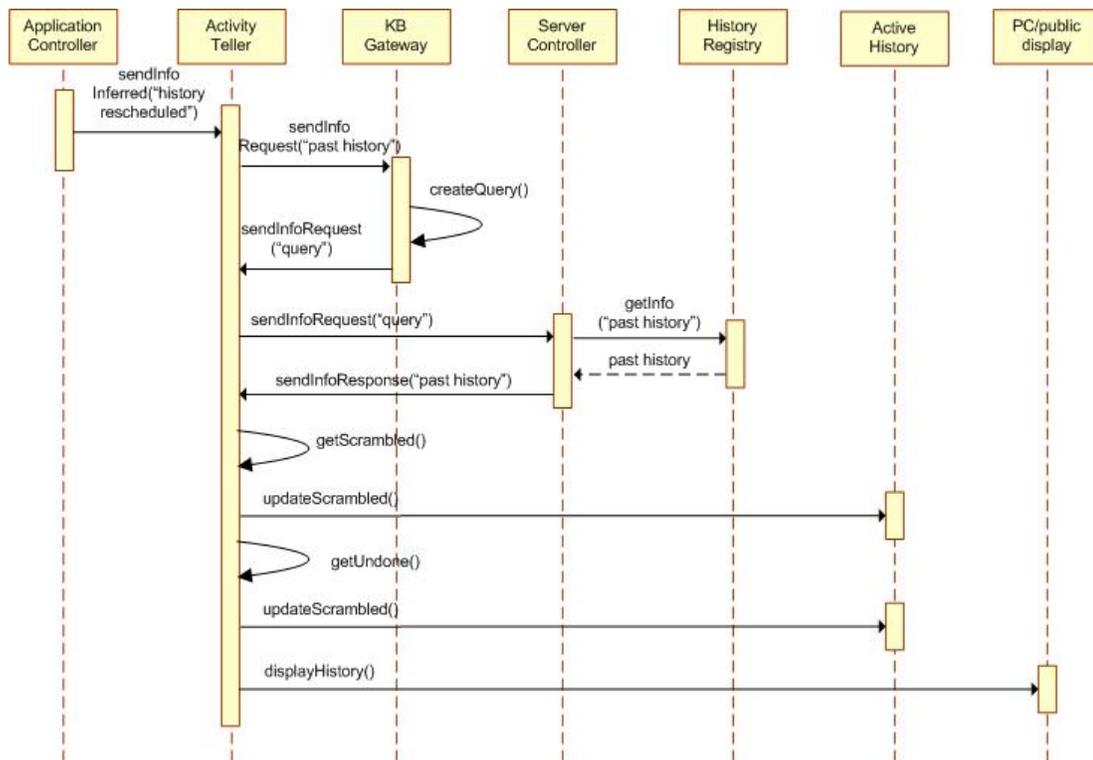


Figura 54. Diagrama de secuencia que muestra la identificación del estado de las actividades

Identificación del estado de las actividades ejecutadas por las enfermeras

La Figura 54 muestra un ejemplo de cómo los componentes interactúan para identificar el estado de las actividades ejecutadas por las enfermeras. Una vez que el *ActivityController* recibe una notificación de que una historia ha sido recalendarizada, éste componente decide actualizar la información desplegada a las jefas de enfermeras. Para ello, solicita la información de la historia antes de ser recalendarizada la base de conocimiento. (Esto se realiza a través del *KB Gateway* como se ha ilustrado en ejemplos pasados). Una vez que se tiene la información de la historia pasada, la *ActivityTeller Engine* la compara con la historia recalendarizada recién recibida. Primero, obtiene las actividades desordenadas recuperando aquellas cuyo marco de tiempo haya reducido. Por ejemplo, si la actividad de toma de signos vitales estaba calendarizada en la historia pasada de 9 a 10am y se realizó de 10 a 11am, ocurrió un cambio de orden. Esta información es después actualizada en la historia activa indicando que la representación de esta actividad será azul. De manera

inversa se obtienen las actividades desfasadas –si hubo un incremento en el marco de tiempo.

Selección de una enfermera disponible

Este componente además permite la reasignación de actividades en función a la enfermera con mayor disponibilidad. Para ello se consulta en la base de conocimientos las actividades que las enfermeras están ejecutando en el área. En base a la disponibilidad marcada por la actividad ejecutada por la enfermera el *ActivityTeller Engine* selecciona aquéllas cuya disponibilidad es alta. Después, el *Activity Teller Engine* muestra una lista de enfermeras a la supervisora quién podrá seleccionar actividades y asociarlas a alguna enfermera de la lista. Finalmente, el *Activity Teller Engine* envía una notificación al *To-do-list Engine*, a través de sus controladores, para que recalendaricen el to-do-list de las enfermeras afectadas.

VIII.3. Aplicación ejemplo

Para ejemplificar cómo todos los componentes de la arquitectura interactúan para soportar la funcionalidad proporcionada por la aplicación, revisitamos el escenario en el siguiente diagrama de secuencia (ver Figura 55).

Quando la enfermera Rita consulta el to-do-list contextual en su PDA, el to-do-list engine le solicita al ServerController las actividades del cuidado diario. (El to-do-list solicita esta información a través del KB gateway del application controller). El servidor obtiene esta información de su base de conocimientos y envía la historia al to-do-list engine, quién despliega la historia en la PDA de Rita. El to-do-list además verifica la disponibilidad de Rita para decidir notificar a Rita una actividad pendiente. Debido a que Rita esta disponible, el to-do-list engine le notifica a Rita que es hora de empezar a tomar los signos vitales de sus pacientes. Cuando los médicos llegan al cuarto 226, el to-do-list engine percibe la actividad de procedimientos quirúrgicos ejecutada por los médicos y la compara con la lista de pendientes de rita encontrando una coincidencia. (La actividad percibida es primero detectada como datos brutos transformados por el

PhysicalAccess Controller en un bosquejo de actividad, el cual a su vez lo notifica al DepictionController quien transforma este bosquejo en una actividad computacional a su vez notificada al ApplicationController).

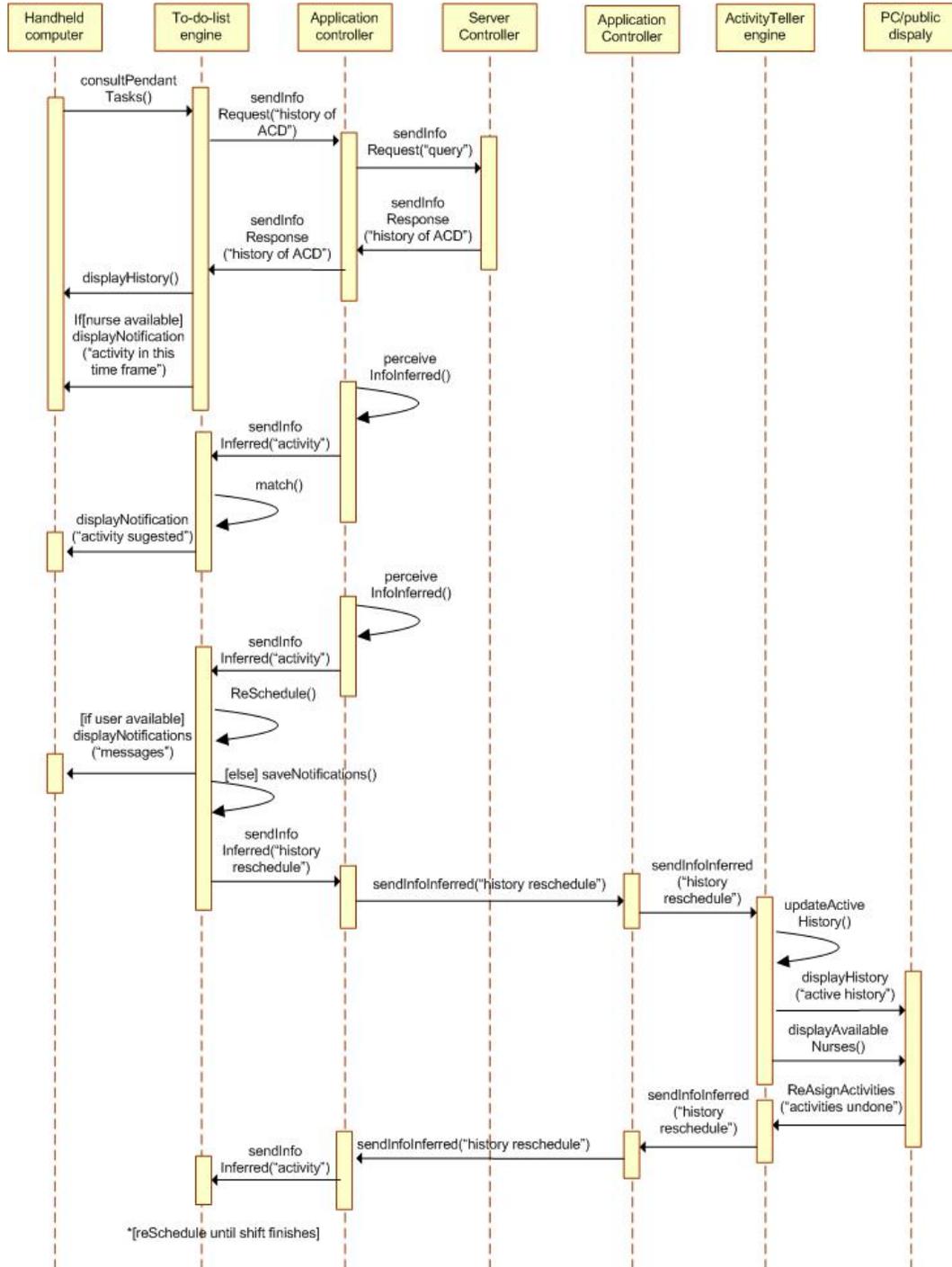


Figura 55 Diagrama de secuencia revisitando el escenario de la planeación de actividades

Con base en esta coincidencia detectada, el to-do-list engine decide sugerirle a Rita que inicie la actividad de procedimientos quirúrgicos. Cuando Rita se reúne con los médicos para realizar la extracción de médula, el to-do-list percibe la actividad de Rita y recalendariza sus actividades. Después, el to-do-list engine le comunica la inferencia de una nueva historia al ActivityTeller –la historia de Rita recalendarizada. Debido a que Rita está ocupada, el to-do-list engine almacena la notificación de la recalendarización para mostrarla a Rita cuando ella este disponible. Además, el to-do-list engine le notifica al ActivityTeller engine la historia de Rita recalendarizada como una inferencia. (Esta notificación se realiza a través del ApplicationController de ambos). El ActivityTeller percibe la nueva historia y la compara con la pasada identificado actividades desfasadas y en desorden. El ActivityTeller identifica que la actividad de procedimientos quirúrgicos está en desorden y que la actividad de limpieza al paciente está desfasada. El ActivityTeller actualiza la historia de Rita y la despliega, mostrando además las enfermeras disponibles. Carmen consulta el ActivityTeller en su PC y se percata que el paciente 226 no ha sido bañado, por lo que reasigna las actividades desfasadas de dicho paciente a alguna enfermera disponible en el piso. El ActivityTeller crea una nueva historia con esta información y la envía al to-do-list engine, quién vuelve a recalendarizar los pendientes de la enfermera seleccionada para realizar las actividades desfasadas con el paciente 226 y los pendientes de Rita. Finalmente, cuando Rita termina el procedimiento el to-do-list engine detecta que Rita está disponible y le despliega sus mensajes y notificaciones.

VIII.4. Resumen y discusión

En este capítulo se describe el diseño e implementación de una aplicación consciente de la actividad que apoya a las enfermeras en la planeación de sus actividades y a las jefas de enfermería en la supervisión de las actividades ejecutadas por las enfermeras –el ACD.

Capítulo IX

Conclusiones y trabajo a futuro

En esta tesis se presentó la factibilidad técnica y aplicabilidad del cómputo consciente de la actividad en hospitales. Para ello introducimos un marco conceptual que incluye el concepto de cómputo consciente de la actividad, el concepto de actividad computacional y un conjunto de principios de diseño para el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad. Mostramos la utilidad del marco a través, del diseño de dos aplicaciones conscientes de la actividad en soporte al trabajo hospitalario y una infraestructura para la fácil implementación de este tipo de aplicaciones -AToM. Además, se presentó una solución para estimar la actividad de un trabajador hospitalario tomando como base la información recabada en el caso de estudio que se realizaron.

IX.1. Contribuciones y resultados

Los resultados y contribuciones de esta tesis y como fueron abordados en capítulos anteriores se resumen en la siguientes líneas.

IX.1.1. Introducción del concepto ‘cómputo consciente de la actividad’

La principal contribución de esta tesis es la introducción del concepto ‘cómputo consciente de la actividad’, un nuevo paradigma de interacción y diseño de aplicaciones ubicuas. El cómputo consciente de la actividad es la intersección entre el cómputo consciente del contexto y el cómputo basado en la actividad, que permite mostrar la información y los servicios relevantes al usuario en la forma de una actividad. Como parte de la definición de este concepto, identificamos los retos enfrentados por los diseñadores en la creación y evolución de aplicaciones conscientes de la actividad, resumidos a continuación:

- *Es necesario proponer nuevas metodologías y herramientas que faciliten el estudio de ambientes reales permitiéndonos capturar comportamientos detallados para*

identificar los problemas enfrentados por los usuarios que se pueden apoyados por tecnologías conscientes de la actividad.;

- *Es necesario determinar los mecanismos de proactividad que una aplicación consciente de la actividad debe incorporar para apoyar al usuario en la creación y administración automática o semi-automática de actividades computacionales –desde completamente automático hasta un punto intermedio entre automático y explícito*
- *Es necesario proponer métodos de estimación de actividad que permitan inferir actividades a diferentes niveles de abstracción, que sean robustos, que involucren al usuario en la estimación y que permitan manejar la incertidumbre en la estimación.*
- *Para una exitosa implantación de tecnología consciente de la actividad, es necesario diseñar dispositivos tecnológicos cuyo costo sea accesible, su tamaño sea adecuado, el tiempo de vida de la batería y la cantidad de información sean suficientes.*
- *Es necesario proponer métodos y métricas de evaluación que permitan evaluar aplicaciones conscientes de la actividad en diferentes fases de su concepción y desarrollo –desde pruebas de concepto hasta evaluaciones en sitio.*

Finalmente, se discute un marco conceptual para el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad. Este marco es un paraguas que conglomerará los conceptos y métodos propuestos en esta tesis con el fin que otros investigadores y diseñadores puedan utilizarlo para el desarrollo de aplicaciones conscientes de la actividad.

IX.1.2. Caracterización de las actividades humanas

En el Capítulo 3 se presentaron los resultados de un estudio de observación conducido en un hospital, con el fin de caracterizar las actividades ejecutadas por el personal médico y después utilizar esta caracterización para identificar las características de las actividades humanas. Para ello se estudió cuánto tiempo el personal médico invierte en sus actividades, la distancia que recorren, los lugares que visitan y el motivo, las personas con las que colaboran y los artefactos que utilizan para realizar su trabajo. Estos resultados contribuyen al entendimiento de cómo la ejecución de las actividades por el personal médico pueden

apoyarse con la introducción de tecnología de Ubicomp –y específicamente aplicaciones conscientes de la actividad.

Encontramos que el personal médico pasa en promedio casi dos minutos (1min, 39 seg.) ejecutando de manera continua una actividad antes de empezar a realizar otra. También encontramos que el personal médico invierte aproximadamente el mismo tiempo en la ejecución de actividades centradas en la administración y en los pacientes con un promedio de 2 hrs. 29 min. 59 seg., mientras que el resto de su tiempo se invierte en la realización de actividades centradas en la información. Además, encontramos que el personal médico se encuentra la mitad de su tiempo fuera de su área base cubriendo alrededor de un (1) kilómetro durante su turno (media 1076 metros - s.d. 593 metros). Además, utilizar la *Teoría de Actividad* para analizar el esquema de codificación de actividades nos permitió identificar el concepto de *Rutinas del Cuidado Diario*. Una *rutina del cuidado diario* es una historia coherente y cronológica de la ejecución de varias actividades del cuidado diario (ACD). Analizando estas rutinas, encontramos que mientras las ACDs ejecutadas por enfermeras tienen un objetivo más técnico específicamente relacionado con proporcionar cuidado integral a los pacientes; las ACDs ejecutadas por médicos de base e internos, tienen un objetivo de toma de decisión relacionado con la evaluación de casos clínicos. Los resultados de este estudio también se pueden ver como una línea base para evaluar el rol que la tecnología juega en modificar los patrones de movilidad, ejecución de actividades y colaboración experimentada. El realizar un estudio similar una vez que la tecnología es introducida en el hospital puede ayudar a medir el grado con el cual la tecnología móvil y UbiComp afecta la manera en que los trabajadores hospitalarios ejecutan su trabajo –cuánto tiempo invierten en diferentes actividades, su movilidad e interactividad.

IX.1.3. Escenarios conscientes de la actividad en hospitales

Un conjunto de escenarios de uso de sistemas conscientes de la actividad nos permitieron analizar cómo la actividad del usuario puede utilizarse como la unidad central del sistema. Estos escenarios surgieron como resultado del caso de estudio, donde identificamos las

necesidades que los trabajadores hospitalarios enfrentan durante el monitoreo de las actividades ejecutadas por pacientes y la creación de sus planes –estos escenarios fueron seleccionados de la observación de los trabajadores hospitalarios durante su práctica diaria. Estos escenarios se describieron en el Capítulo 5. El Capítulo 6 y 7, a través de la implementación de aplicaciones conscientes de la actividad, presenta evidencia de que estos escenarios ilustran la aplicabilidad y factibilidad del diseño de estas aplicaciones. El Capítulo 7 además presenta evidencia de que el personal hospitalario concuerda que los escenarios identificados representan problemas reales enfrentados en su práctica diaria, y que el sistema propuesto es útil y les permitiría enfrentar estos problemas.

IX.1.4. Principios de diseño del cómputo consciente de la actividad

De los sistemas propuestos y descritos en los escenarios (Capítulo 5) fue posible identificar las características funcionales y principios de diseño que una aplicación consciente de la actividad debe incorporar. Estos principios son enumerados a continuación:

- *Una aplicación consciente de la actividad debe ser capaz de adaptar la representación de una actividad, dependiendo de la granularidad deseada por un usuario, las capacidades del dispositivo que la mostrará y la información de contexto que la influencia.*
- *Una aplicación consciente de la actividad debe ser capaz de inferir las actividades ejecutadas por los usuarios*
- *Una aplicación consciente de la actividad debe ser capaz de monitorear la actividad para actuar y razonar ante estos cambios.*
- *Una aplicación consciente de la actividad debe proveer un repositorio para el almacenamiento de actividad e historias, el cual se podrá utilizar después por la misma aplicación como conocimiento.*
- *Una aplicación consciente de la actividad debe ser capaz de proveer los servicios que estipula el cómputo consciente de la actividad.*

Estos principios de diseño inspiraron el diseño de una infraestructura que facilita el diseño e implementación de aplicaciones conscientes de la actividad –An Activity-aware anaTomy for ubicoMp (AToM)¹⁷.

IX.1.5. Un método para la captura y análisis de información detallada

Entender y caracterizar la naturaleza del trabajo en un ambiente es un requisito esencial para el desarrollo de tecnología móvil y UbiComp –tecnología que va más allá de la computación de escritorio y trabajan en todo el sitio de trabajo. Dicha caracterización puede proveer la base para entender el tipo de escenarios que deben ser soportadas para evaluar el valor de las tecnologías que están siendo propuestas. Sin embargo, un estudio detallado de la naturaleza de las actividades en un ambiente real representa un gran reto, ya que requiere una labor intensa por los investigadores y un nivel de intrusión el cual no es siempre bienvenido por los participantes. Nosotros como muchos investigadores hemos externado la necesidad de una metodología que permita capturar información detallada mezclando el uso de métodos estructurados y no-estructurados –para así obtener una amplia gama de información a ser analizada para diferentes fenómenos. A nuestro conocimiento, no existe una metodología para estudiar ambientes reales que provean diferentes medios o herramientas para capturar observaciones detalladas de aspectos generales y detallados del trabajo humano –y más aquellos ambientes en donde la movilidad juega un rol importante. La metodología que seguimos en el caso de estudio requiere que los investigadores observen a los individuos a través del tiempo mezclando el uso de métodos estructurados y no-estructurados con el fin de capturar información detallada del contexto de trabajo. El utilizar este método nos permitió además descubrir los problemas que el personal médico enfrenta en su práctica diaria resaltando oportunidades valiosas para el diseño de aplicaciones conscientes de la actividad. Este método se puede utilizar después para estudiar otros ambientes además de hospitales.

¹⁷ Una parte de esta infraestructura se implementó durante la implementación del ACD Comic –aplicación descrita en el capítulo 6.

IX.1.6. Un método para estimar la actividad de los usuarios

Estimar la actividad de un usuario, como discutimos en el Capítulo 4, no es una tarea fácil, y a pesar que se ha resaltado la importancia de conocer la actividad del usuario en UbiComp, pocos esfuerzos se han realizado para enfrentar este problema. Una de las razones de esto es que no se tienen soluciones disponibles para estimar las actividades ejecutada por una persona –fuera de aquellas que derivan contexto de sensores primarios.

En el Capítulo 4 de esta tesis presentamos una solución que utiliza la información recabada en el caso de estudio como entradas y salidas para probar y entrenar algoritmos de reconocimiento de patrones. La metodología que seguimos permite entonces estimar una amplia gama de actividades desde aquéllas con un nivel de abstracción mayor (i.e., actividades con un motivo) hasta acciones con una meta más específica –e inclusive derivar información secundaria como la disponibilidad de un usuario. La metodología involucra las siguientes fases:

- *Identificación de la información contextual relevante para el reconocimiento de actividades*, incluyendo un análisis de sensibilidad y de ocurrencia.
- *Transformación de los datos recabados en el estudio a una representación que puede ser entendida por algoritmos de reconociendo de patrones*
- *Realización de diferentes experimentos con los vectores de entrada* para realizar modificaciones al modelo utilizado con la máquina de inferencia.
- *Aplicación de estrategias para incrementar la precisión* –como la aplicación del principio de recurrencia
- *Ejecución de una prueba de robustez* introduciendo ruido en el vector de entrada

Esta metodología fue seguida para entrenar una red neuronal y un modelo paralelo en capas de Harkov, algoritmos utilizados para inferir la actividad ejecutada por el personal médico. Nuestros resultados muestran que se pueden estimar la actividad del usuario con una precisión del 98% con modelos ocultos de Markov y 75% con redes neuronales (en promedio). La disponibilidad de un usuario se pudo estimar con una precisión de 90% (en promedio).

IX.1.7. Publicaciones de la tesis

Otra contribución de esta tesis incluye los artículos presentados y publicados con el fin de que otros conozcan nuestro trabajo y puedan identificar nuevas áreas de oportunidad. En las siguientes líneas resumimos la cantidad de artículos publicados:

- Nueve artículos de revista
- Un capítulo de libro
- Doce artículos de conferencia –incluyendo 10 conferencias internacionales y 2 nacionales
- Seis artículos de taller

IX.2. Implicaciones de implementar el cómputo consciente de la actividad

En esta sección se discuten las lecciones aprendidas a partir de poner en práctica el cómputo consciente de la actividad, así como, las estrategias utilizadas para abordar los problemas y retos enfrentados en esta tesis.

IX.2.1. Aspectos a considerar para la recolección de datos *in situ*

Algunos retos involucrados en el caso de estudio surgieron del hecho que la metodología requiere un esfuerzo en grupo y demanda la documentación detallada de la captura de períodos de observación *in situ*. Sin embargo, algunos aspectos fueron menos obvios durante el diseño del estudio y son importantes a considerar cuando se utilice este tipo de metodología. En las siguientes líneas discutimos algunos de estos aspectos, utilizando la retroalimentación que se obtuvo de reuniones y entrevistas informales con algunos de los investigadores que contribuyeron en el estudio.

La asimetría en la recolección de los datos

Notamos una tensión entre el esfuerzo invertido por el investigador para capturar información detallada y la reacción de los informantes ante este hecho –con el fin de

mantener un control sobre la información que se captura. Llamamos a este desequilibrio la *asimetría de la recolección de datos*. Desde el punto de vista del informante, el desequilibrio recae entre cuanta información un informante esta dispuesto a compartir y que tan valiosa es para el investigador. Ocasionalmente observamos que los informantes encontraron una manera para distanciarse del investigador con el fin de proteger su privacidad o evitar la recolección de la información durante la ejecución de ciertas actividades. Por ejemplo, una vez, un médico para discutir un problema con el jefe de residentes cerró la puerta dejando al investigador afuera. Durante este periodo de tiempo, el investigador fue incapaz de capturar algún tipo de información perdiendo información que podría ser relevante para el estudio. A pesar que estos episodios provocaron la pérdida de información, esta situación no se puede prevenir, ya que el informante, en cierto grado, tiene el control sobre la información que se observa. Para evitar estos problemas una solución es discutir con el informante (al final del turno o en sus recesos) estos episodios donde no fué posible la captura de información. Una solución alternativa sería complementar los estudios de sombra con otras técnicas de captura como diarios (Burns, 1954; Dubin y Spray, 1964; Horne y Lupton, 1965; Stewart, 1965). Los diarios le permiten a un informante tener control sobre la información a compartir con el investigador, sin embargo, esta técnica impone una carga de trabajo extra a los informantes.

Mejorando la captura de información en sitio

La metodología del estudio permitió la captura de información estructurada (i.e., artefactos que se utilizan, la hora del día, ubicación y las personas involucradas en la actividad), así como información no-estructurada (e.g., contenidos de conversaciones). Analizando la información, se observó que la cantidad y el detalle de la información estructurada que se capturó comparada con la no-estructurada es inconsistente. Los investigadores tuvieron ciertas dificultades en decidir qué información (i.e., estructurada y no-estructurada) es más relevante a capturar en un momento determinado. Por ejemplo, durante una entrevista un investigador explicó: *“El contexto del ambiente cambia muy rápidamente, entonces es muy difícil capturar detalles de conversaciones y al mismo tiempo registrar información específica como la localización del informante y los artefactos utilizados. Algunas veces,*

decidía anotar contenidos de conversaciones por que creía que eran relevantes, pero cuando terminaba la captura de esta información, el informante ya había cambiado los artefactos que estaba utilizando". Entonces, los investigadores al tratar de capturar información con el mayor nivel de detalle posible perdía en ocasiones comportamientos interesantes estrictamente relacionados con el propósito del estudio.

Integrando información de múltiples investigadores

Uno de los principales problemas que se identificaron es que la información que un investigador capturó no puede ser relacionada fácilmente con aquella que otro investigador capturó. Ocasionalmente, los investigadores estuvieron juntos en el sitio siguiendo a informantes que trabajan de manera colaborativa. Sin embargo, durante el análisis no se pudo comparar estos segmentos que se capturaron al mismo tiempo. Un fenómeno similar ocurrió con el uso de artefactos. Por ejemplo, muchos registros reportan que los informantes estuvieron utilizando el expediente médico frente a la cama del paciente. Sin embargo, no se podía saber con claridad si este expediente pertenecía a dicho paciente. Esta información si se capturó pero no se establecieron las asociaciones adecuadas entre la información y el contexto de uso, ni entre la información y el contexto de captura. Esta información puede ser muy útil para analizar patrones de comportamiento o el uso de artefactos (e.g., caracterizar el día típico de un artefacto). Para enfrentar estos problemas, se puede utilizar el contexto de los informantes o investigadores (e.g., su localización, sus artefactos utilizados) para mejorar la captura de los datos *in situ* etiquetando esta información en el reporte de observación de manera automática.

Mejorando la materialización de la información capturada

Además, de los esfuerzos que los investigadores invierten durante la captura de los datos, se requiere trabajo adicional para transcribir la información en reportes de observación digitales. Nuestra experiencia indica que los investigadores invierten más del doble del tiempo de captura transcribiendo esta información. Durante una entrevista un investigador explicó: *“Lo que no me gusta de este método es que la información capturada debe transcribirse después. Una vez, pase dos días de trabajo completos transcribiendo únicamente siete horas de observación. Y mientras transcribía la información sentía que*

trabajaba doble”. A pesar de esto, los investigadores también explicaron que el tener la oportunidad de transcribir la información que se reportó en papel les permitía clarificar o complementar sus propias anotaciones. Otro investigador explicó: *“Cuando estoy transcribiendo mis notas recuerdo comportamientos específicos que no fui capaz de registrar en un momento. Sin embargo, incluí esta información en el reporte de observación digital”*.

IX.3. Trabajo a futuro

Algunos problemas identificados en diferentes fases de la tesis fueron abordados (como se describió en la sección anterior) mientras que otros no fueron tratados. En esta sección se explica cómo estos problemas no abordados pueden delimitarse como un trabajo de investigación a ser realizado a futuro, así como, aquéllos problemas que si abordamos se pueden aplicar en otro tipo de ambientes –además de hospitales. Es así como esta sección explica los problemas de investigación como oportunidades para trabajo a futuro.

IX.3.1. Cómputo consciente de la actividad para la asistencia y valoración del deterioro cognitivo

El término Deterioro Cognitivo Asociado a la edad o ARCD por sus siglas en inglés (Age-related Cognitive Decline) ha sido propuesto para indicar un deterioro cognitivo asociado al proceso de envejecimiento. Las personas con ARCD experimentan un deterioro en memoria, ejecución motriz, y rapidez en el procesamiento cognitivo, como aprender, pensar, utilizar el lenguaje y otras funciones mentales. Esto ha ocasionado un deterioro en la calidad de vida percibida por una persona afectando una o más habilidades del cuidado personal y bienestar (Levy, 1994). Esto puede llevar a dificultades en ejecutar las actividades de la vida diaria (ADL) o las actividades instrumentales de la vida diaria (IADL), como concentrarse en una conversación o recordar que se debe asistir al cumpleaños de un nieto (Oliff, 2005). Más aún, ARCD se ha identificado como el más común e indeseado compañero de la vejez, así como, un indicador importante de problemas de salud que pueden evolucionar a una enfermedad más grave como Demencia

o Alzheimer (Roman, 2003). Ciertamente, cuidar a personas con dichas enfermedades es una responsabilidad que consume mucho tiempo y que normalmente impone sobre los cuidadores estrés físico y emocional. Estos problemas asociados al cuidado de personas con estas enfermedades han llevado a sus cuidadores a cambiar a sus familiares a asilos. Esto ha contribuido al dramático crecimiento del número de asilos para personas con deterioro cognoscitivo (Friedman y Brown, 1999).

Los trabajadores en asilos enfrentan condiciones similares a las del personal en hospitales. Ellos, al igual que el personal médico, son personas altamente móviles que requieren colaborar y coordinar sus actividades consultando y compartiendo documentos distribuidos en espacio y tiempo. Además los asilos utilizan estrategias comunes a aquellas utilizadas en hospitales para detectar los cambios en los patrones de comportamiento de los pacientes. Por ejemplo, diferentes médicos han desarrollado pruebas simples para medir el deterioro cognitivo de los ancianos, identificando las ADLs como “estándares de oro” para medir las habilidades funcionales, así como, indicadores de sus habilidades físicas y cognitivas (Mellor y Hebb, 2004). Sin embargo, monitorear las ADLs ejecutadas por ancianos no es tarea fácil. Por ejemplo, la valoración de estos ancianos es realizada generalmente de manera manual haciendo que esta tarea consuma mucho tiempo y sea propensa a errores (Wilson *et. al.*, 2005). Entonces, estas condiciones de trabajo motivan la creación de nuevas soluciones en apoyo a estos lugares, soluciones que apoyen en la asistencia y en la valoración de ancianos con ARCD.

Para enfrentar esta problemática proponemos explorar cómo el *reconocimiento de actividad se puede utilizar para monitorear adecuadamente las ADLs de los ancianos para informar como el ambiente ubicuo puede adaptar su comportamiento facilitando la ejecución natural de dichas actividades y notificando a los cuidadores de comportamientos anormales hacia la asistencia y valoración de personas con ARCD* (Favela *et. al.*, 2007). Para esto proponemos tomar como base las herramientas y propuestas desarrolladas en esta tesis y aplicarlas en este ambiente. Es por ello, que establecimos una relación con un asilo localizado aquí en Ensenada: Residencial Lourdes (<http://www.residencialourdes.com/english/index.php>). Actualmente, en esta residencia

hay 20 pacientes registrados con diferentes grados de deterioro cognitivo, desde pacientes en etapas iniciales hasta aquellos que inclusive ya no pueden caminar o comer solos.

IX.3.2. Herramientas para la recolección de datos

Uno de los mayores retos que involucra el uso de algoritmos de reconocimiento de patrones es la captura de los datos. Como discutimos en el Capítulo 3, nosotros propusimos una metodología que permite capturar una gran cantidad de información que después se utilizó como datos para entrenar y probar algoritmos de reconocimiento de patrones –para inferir la actividad de un usuario. Sin embargo, el realizar este tipo de estudios requiere de mucho esfuerzo y un nivel de intrusión que no siempre es bienvenido por los informantes. Es por ello que necesitamos desarrollar herramientas que apoyen a los investigadores durante la captura y el análisis de esta información.

Las lecciones aprendidas y los retos que enfrentamos durante el caso de estudio inspiraron el desarrollo de una aplicación consciente del contexto para atacar estos problemas –El Etnógrafo Móvil¹⁸. El etnógrafo móvil apoya a los investigadores en la adquisición y materialización de los datos, así como, en el cálculo de estadísticas y análisis. La Figura 56 muestra a un investigador utilizando el etnógrafo móvil para capturar las actividades ejecutadas por una enfermera.

Como se ilustra en la Figura 56, la aplicación permite:

- La captura rápida de información mediante el uso de íconos de acceso directo (ver Figura 56d)
- Asociar contenido a cada registro, por ejemplo, relacionar la información capturada por un investigador (como fotos) con aquella capturada por otro investigador (ver Figura 56e)
- Permite la captura automática de contexto facilitando la captura y materialización de la información. Como ilustra la Figura 56a, un investigador utiliza un podómetro para la captura automática de pasos.

¹⁸ Una versión del etnógrafo móvil se implementó en esta tesis durante la adquisición de los datos



Figura 56. Un investigador observando a una enfermera mientras usa el etnógrafo móvil para capturar los comportamientos

Como trabajo a futuro proponemos el diseño e implementación de diferentes métodos y herramientas que faciliten la adquisición de estos datos. Esta información capturada *in situ* puede además utilizarse para realizar otro tipo de análisis, desde el punto de vista social hasta la generación de vectores de entrada para los algoritmos de reconocimiento.

A pesar de que ciertas aplicaciones similares a las del Etnógrafo Móvil, se han implementado (como Noldus), éstas no utilizan otro tipo de sensores para apoyar al investigador en la captura. En este caso podríamos crear herramientas que capturen de manera automática información contextual, incluyendo desde la localización de individuos hasta fotos, videos y su interacción con algunos objetos.

Por ejemplo, la Figura 57 muestra dos herramientas que permiten la captura automática de información. La SenseCam (ver Figura 57a) es una cámara digital diseñada para tomar fotografías de manera pasiva, sin la intervención del usuario. A diferencia de una cámara regular, la SenseCam no tiene una pantalla donde el usuario puede ajustar la imagen a ser tomada; en su lugar, tiene un lente de ojo de pez que maximiza la vista del rango de la imagen. Esto asegura que casi todo a la vista de la persona que usa la SenseCam será capturado por ella. Además, la SensCam contiene un innumerable número de sensores incluyendo los que leen la intensidad de la señal, detector de calor corporal, temperatura y acelerómetros. Estos sensores son los encargados de detectar cambios en el ambiente para

decidir cuando la SenseCam deberá tomar una foto. Por ejemplo, si detecta la presencia de una nueva persona se toma una foto. Integrar la SenseCam con herramientas como el etnógrafo móvil permitirá tener otro tipo de datos para realizar análisis, como fotos y video. Particularmente, para inferencia de actividades se podría emplear técnicas de visión para estimar la actividad sobre esta información capturada. El resultado de estas técnicas puede ser además complementado con la información contextual capturada por el etnógrafo móvil –realizando un análisis similar al que nosotros hicimos para la inferencia de actividad (ver Capítulo 4). Otra herramienta que fue desarrollada en Intel es el iBracelet (ver Figura 57). Este bracelete permite detectar los objetos que una persona esta utilizando. Al igual que con la SenseCam, esta información se podría utilizar para enriquecer la inferencia de una actividad.



Figura 57. Herramientas para la recolección de datos *in situ* (a) La SenseCam (b) El iBracelet

El tener este tipo de herramientas nos permitirá capturar una amplia gama de información que se podrá utilizar después para hacer diferentes experimentos para la estimación de actividades. Esta información podría contribuir a la inferencia de actividades de la siguiente manera:

- Uso del método propuesto en el Capítulo 4 de esta tesis para procesar información contextual capturada por herramientas como el etnógrafo móvil.
- Uso de técnicas de visión para analizar fotografías y video capturada por la SenseCam (o un dispositivo similar)
- Uso de simples reglas para detectar actividad en función a la interacción de una persona y objetos
- Uso de diferentes combinaciones de los métodos anteriores

IX.3.3. Evaluación de aplicaciones conscientes de la actividad

Un reto del cómputo consciente de la actividad que no fue abordado (en mucho detalle) en esta tesis es la evaluación de este tipo de aplicaciones. A pesar que los investigadores en Ubicomp se encuentran interesados en la evaluación de este tipo de aplicaciones, el proceso de creación de un software ha seguido, en general, las siguientes metodologías:

- estudiar a los usuarios antes de la concepción de un sistema para identificar sus problemas y necesidades y proponer una herramienta que permita a los usuarios enfrentar estos problemas o;
- involucrar a posibles usuarios finales durante el diseño de una aplicación para construir un sistema en función a las necesidades de los propios usuarios finales o;
- diseñar el sistema y después realizar una evaluación exhaustiva para medir el impacto de estas aplicaciones *in situ* y;
- posibles combinaciones de las anteriores.

Sin duda cada una de estas metodologías no involucran a la evaluación de sistemas como parte del proceso de desarrollo de un software –o está al final o al inicio. Lo que debemos hacer es buscar un punto intermedio que permita evaluar una aplicación desde las primeras etapas de su concepción hasta su implantación –inclusive cuando no existe ninguna línea de código implementada. Sólo así podríamos predecir el impacto que esta aplicación podría tener una vez implantada *in situ*.

En esta dirección el problema es que no tenemos métodos o herramientas que nos permitan hacer este tipo de evaluaciones “ligeras” durante la concepción del sistema. Evaluaciones que permitan predecir tanto los factores técnicos o de usabilidad como aquéllos de adopción como sociales o económicos. Para enfrentar estos problemas proponemos realizar un trabajo de investigación que permita evaluar sistemas conscientes de la actividad en diferentes niveles de concepción –desde aquéllos sistemas que son un simple concepto hasta sistemas completamente terminados. Esto permitirá reunir y utilizar diferentes técnicas de evaluación con el fin de definir una metodología de evaluación que *se pueda utilizar* en todas la fases de la implementación de un sistema consciente de la actividad –desde su concepción hasta su puesta en marcha.

IX.4. Conclusiones

Esta tesis ha explorado la factibilidad, aplicabilidad y las complejidades asociadas al diseño e implementación de aplicaciones conscientes de la actividad. Una caracterización del trabajo médico nos permitió identificar un conjunto de escenarios utilizados como herramientas para definir la funcionalidad que deben soportar las actividades computacionales e ilustrar cómo las actividades pueden ser la abstracción de diseño de sistemas UbiComp. Para satisfacer los principios de aplicaciones conscientes de la actividad y enfrentar los retos en su diseño e implementación, se desarrolló una infraestructura, la cual permite la implementación y evolución de aplicaciones conscientes de la actividad. Uno de los retos más importantes es el reconocimiento de las actividades ejecutadas por los usuarios. Para ello propusimos un método que permite estimar las actividades del personal médico utilizando la información del caso de estudio. Para ilustrar la aplicabilidad y factibilidad de aplicaciones conscientes de la actividad en hospitales, presentamos el diseño e implementación de dos aplicaciones que apoyan a las enfermeras en el monitoreo de pacientes y en el seguimiento de planes. La evaluación de una de estas aplicaciones mostró que los usuarios consideran útil y fácil de utilizar este tipo de aplicaciones.

Referencias

- Addlesee, M., R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggles, A. Ward y A. Hopper, 2001. Implementing a Sentient Computing System. *IEE Computer* 34(8): 50 - 56.
- Bardram, J. y H. B. Christensen, 2007. Pervasive Computing Support for Hospitals: An overview of the Activity-Based Computing Project. *IEEE Pervasive computer* 6(1): 44-51.
- Bardram, J. E., 1997. Plans as Situated Action: An Activity Theory Approach to Workflow Systems. ESCW, Lancaster University, UK, Kluwer Academic Publishers.
- Bardram, J. E., 2006. Activity-based computing: support for mobility and collaboration in ubiquitous computing. *Personal and Ubiquitous Computing* 9(5): 312–322.
- Bardram, J. E. y C. Bossen, 2003. Moving to get aHead: Local Mobility and Collaborative Work. ECSCW, Helsinki, Finland, Kluwer Academic Publishers.
- Bardram, J. E. y C. Bossen, 2005. Mobility Work: The Spatial Dimension of Collaboration at a Hospital. ECSCW, Paris, France, Kluwer Academic Publishers.
- Bardram, J. E., J. Bunde-Pedersen y M. Soegaard, 2006. Support for ActivityBased Computing in a Personal Computing Operating System. CHI, Montreal, Quebec, Canada, ACM Press.
- Bian, X., G. D. Abowd y J. M. Rehg (2004). Using Sound Source Localization to Monitor and Infer Activities in the Home. T. Report;GIT-GVU-04-20, Georgia Institute of Technology.
- Burns, T., 1954. The Directions of Activity and Grnrnunication in a Departmental Executive Group. *Human Rehtions* 2(1): 73-97.
- Buschmann, F., 1996. A system of patterns. *Pattern-Oriented Software Architecture.*, Wiley P. Sons.
- Camacho, J., J. Favela y V. M. Gonzalez, 2006. Supporting the Management of Multiple Activities in Mobile Collaborative Working Environments. CRIWG, Valladolid, Spain, Springer-Verlag.
- Canny, J., 2004. GAP: A Factor Model for Discrete Data. SIGIR'04., Sheffield, UK.
- Carter, S. y J. Mankof, 2004. Challenges for UbiComp Evaluation. EECS Department UC Berkeley.
- Castro, L. y J. Favela, 2005. Contiuous Tracking of User Location in WLANs Using Recurrent Neural Networks. ENC 2005, Puebla, Mexico, IEEE Press.
- Castro, L. A. y J. Favela, 2008. Reducing the Uncertainty on Location Estimation of Mobile Users to Support Hospital Work. *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics--Part C: Applications and Reviews*.
- Choudhury, T., S. Consolvo, B. Harrison, J. Hightower, A. LaMarca, L. LeGrand, A. Rahimi, A. Rea, G. Bordello, B. Hemingway, P. Klasnja, K. Koscher, J. A. Landay, J. Lester, D. Wyatt y D. Haehnel, 2008. The Mobile Sensing Platform: An Embedded Activity Recognition System. *IEEE Pervasive Computing* 7(2): 32-41.

- Consolvo, S., E. Paulos y I. Smith, 2007. Mobile persuasion for everyday behavior change, Stanford Captology Media.
- Consolvo, S., P. Roessler y B. E. Shelton, 2004. The CareNet Display: Lessons Learned from an In Home Evaluation of an Ambient Display. Ubicomp, Nottingham, England, Springer.
- Dey, A. K. y G. D. Abowd, 2000. Towards a better understanding of context and context awareness. Workshop on the What, Who, Where, When and How of Context-Awareness at CHI, Hague, Netherlands, ACM Press.
- Dornbush, S., J. English, T. Oates, Z. Segall y A. Joshi, 2007. XPod: A Human Activity Aware Learning Mobile Music Player. Workshop on Ambient Intelligence, 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-2007), Hyderabad, India.
- Dubin, R. y S. L. Spray, 1964. Executive Behaviour and Interaction. *Industrial Relations* 111(2): 99-108.
- Duda, R. O., P. E. Hart y D. G. Stork, 2000. Pattern Classification. N.Y, John Wiley & Sons.
- Dunlop, M. y S. Brewster, 2002. The Challenge of Mobile Devices for Human Computer Interaction. *Personal and Ubiquitous Computing* 6(4): 235–236.
- Favela, J., M. Tentori, L. Castro, V. Gonzalez, E. Moran y A. I. Martinez, 2006. Estimating Hospital Workers' Activities and its use in Context-Aware Hospital Applications. *Pervasive Healthcare*, Salzburg, Austria.
- Favela, J., M. Tentori, L. A. Castro, V. M. Gonzalez, E. B. Moran y A. I. Martínez-García, 2007. Activity Recognition for Context-Aware Hospital Applications: Issues and Opportunities for the Deployment of Pervasive Networks. *MONET* 12(2-3): 155-171.
- Favela, J., M. Tentori, C. Garcia-Peña, M. D. Rodriguez y V. M. Gonzalez, 2007. Activity Recognition for the Assessment and Assistance of Age-Related Cognitive Decline. Workshop on Intelligent Systems for Assisted Cognition, Rochester, NY.
- Favela, J., M. Tentori, A. Markarian, L. A. Castro y I. Amaya, 2006. Integrating Heterogeneous Devices in Support of Local Mobility. 12th Americas Conference on Information Systems, Acapulco, Mexico, Association for Information Systems.
- Favela, J., M. Tentori, D. Segura y G. Berzunza, 2009. Adaptive Awareness of Hospital Patient Information through Multiple Sentient Displays. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence* 1(1): 27-38.
- Friedman, M. y E. Brown, 1999. Special Care Units in Nursing Homes—Selected Characteristics. Rockville, MD., MEPS Research Findings No. 6. Agency for Health Care Policy and Research.
- Garlan, D., D. P. Siewiorek, A. Smailagic y P. Steenkiste, 2002. Project Aura: Toward Distraction-Free Pervasive Computing. *IEEE Personal Communications* 1(2): 22-31.
- Geyer, W., 2006. Activity explorer: activity-centric collaboration from research to product. *IBM Systems Journal* 45(4): 713-726.
- Geyer, W., J. Vogel, L. Cheng y M. Muller, 2003. Supporting activity-centric collaboration through peer-to-peer shared objects. Proceedings of the 2003 international ACM

- SIGGROUP Conference on Supporting Group Work, Sanibel Island, Florida, USA, ACM, New York, NY.
- González, V. y G. Mark., 2004. Constant, Constant, Multi-tasking Craziiness: Managing Multi-ple Working Spheres. CHI, Vienna, Austria, ACM Press.
- González, V., M. Tentori, E. Moran, J. Favela y A. Martinez, 2005. Understanding mobile worker's behaviors in a distributed information space: implications for the design of ubicomp technology. Latin American Conference on Human-computer Interaction (CLIHC '05, Cuernavaca, Mexico, ACM Press.
- Greenberg, S. y C. Fitchett, 2001. Phidgets: easy development of physical interfaces through physical widgets. 14th annual ACM symposium on User interface software and technology, Orlando, Florida.
- Gross, T., 2003. Ambient Interfaces: Design Challenges and Recommendation. International Conference on Human-Computer Interaction, Crete, Greece, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Henderson, D. A. y S. K. Card, 1986. Rooms: The Use of Multiple Virtual Workspaces to Reduce Space Contention in a Window-Based Graphical User Interface. ACM Transactions on Graphics, 5(3): 211-243.
- Hightower, J. y G. Borriello, 2001. Location Systems for Ubiquitous Computing. IEEE Computer: 57-66.
- Hopper, A., 1999. The Cliord Paterson Lecture: Sentient Computing. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 358(1773): 2349-2358.
- Horne, J. H. y T. Lupton, 1965. The Work Activities of "Middle" Managers - An Exploratory Study. Journal of Management Studies 11(1): 14-33.
- Intille, S., K. Larson y C. Kukla (2000). House_n: The MIT Home of the Future Project. [MIT Dept. of Architecture](#).
- Johan, R., T. Skog y L. Hallnäs, 2000. Informative Art: Using Amplified Artworks as Information Displays. Designing augmented reality environments, Elsinore, Denmark, ACM Press.
- Krumm, J. y K. Hinckley, 2004. The NearMe Wireless Proximity Server. Ubicomp.
- Krumm, J. y E. Horvitz, 2004. LOCADIO: Inferring Motion and Location from Wi-Fi Signal Strengths. First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, Boston, MA, USA, IEEE Press.
- Kumar, A., 2005. Reflections on challenges to the goal of invisible computing. ACM Ubiquity 6(17): 1-1.
- Labrou, Y., T. Finin y Y. Peng, 1999. Agent Communication Languages: The Current Landscape. IEEE Intelligent Systems 14(2): 45-52.
- Lee, S. W. y K. Mase, 2002. Activity and location recognition using wearable sensors. IEEE Pervasive Computing 1(3): 24-32.
- Leont'ev, A., 1981. Problems of the development of mind, Progress Press.
- Levy, R., 1994. Aging-associated cognitive decline. International Psychogeriatrics 6: 63-68.
- Li, Y. y J. A. Landay, 2008. Activity-Based Prototyping of Ubicomp Applications for Long-Lived, Everyday Human Activities. CHI 2008: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, Florence, Italy.

- López de Ipiña, D. y S. Lai Lo, 2001. Sentient Computing for Everyone. The Third International Working Conference on New Developments in Distributed Applications and Interoperable Systems, Kraków, Poland, Deventer, The Netherlands, The Netherlands.
- Lund, A. y M. Wilberg, 2007. Ambient displays beyond conventions. British HCI Group Annual Conference.
- Mackay, W. E., 1991. Triggers and barriers to customizing software. Conference on Human Factors in Computing Systems, New Orleans, Louisiana, United States.
- Mankoff, J., A. K. Dey, G. Hsieh, J. Kientz, S. Lederer y M. Ames, 2003. Heuristic evaluation of ambient displays. Conference on Human Factors in Computing Systems, Lauderdale, Florida, USA.
- Mellor, J. P. y C. Hebb, 2004. Aging in Place Position Paper. Extended Abstracts of CHI 2004: Workshops – Home Technologies to Keep Elders Connected, Vienna, Austria.
- Moran, E. B., M. Tentori, V. M. González, A. I. Martínez-García y J. Favela, 2006. Mobility in Hospital Work: Towards a Pervasive Computing Hospital Environment. *International Journal of Electronic Healthcare* 3(1): 72-89.
- Moran, T. y P. Dourish, 2001. Introduction to This Special Issue on Context-Aware Computing. *Human-Computer Interaction* 16(2): 87-97.
- Moran, T. P., A. Cozzi y S. P. Farrell, 2005. Unified activity management: supporting people in e-business. *Communications of the ACM* 48(12): 67-70.
- Morteo, R., V. M. González, J. Favela y G. Mark, 2004. Sphere Juggler: Fast Context Retrieval in Support of Working Spheres. ENC 2004, Puebla, Mexico, IEEE Computer Society.
- Munguia, E. T., S. S. Intille y K. Larson, 2004. Activity Recognition in the Home Using Simple and Ubiquitous Sensors. *Pervasive*, LNCS Springer.
- Munoz, M., M. D. Rodriguez, J. Favela, A. I. Martínez-García y V. M. Gonzalez, 2003. Context-Aware Mobile Communication in Hospitals. *IEEE Computer* 36(9): 38-46.
- Nardi, B. A., 1996. *Context and Consciousness: Activity Theory and Human-computer Interaction.*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Norman, D., 1991. Cognitive Artifacts. In *Designing Interaction: Psychology at the Human-Computer Interface*.
- Oliff, H. S., 2005. Newly Discovered Anti-Aging Effects of Ginkgo Biloba. *LE Magazine*, April 2005.
- Oliver, N., G. A. y H. E., 2004. Layered representations for learning and inferring office activity from multiple sensory channels. *IEEE Pervasive Computing* 4(4): 78-80.
- Orlikowski, W. J., 1993. CASE tools as organizational change: investigating incremental and radical changes in systems development. *MIS Quarterly* 17(3): 309-340.
- Philipose, M., K. P. Fishkin y M. Perkowi, 2004. Inferring Activities from Interactions with Objects. *IEEE Pervasive Computing* 3(4): 50-57.
- Reddy, M. y P. Dourish, 2002. A Finger on the Pulse: Temporal Rhythms and Information Seeking in Medical Work. *Computer Supported Cooperative Work*, New Orleans, Louisiana, ACM.

- Reddy, M., P. Dourish y W. Pratt, 2001. Coordinating Heterogeneous Work: Information and Representation in Medical Care. ECSCW, Bonn, Germany, Kluwer Academic Publishers.
- Rodriguez, M. D., J. Favela, A. Preciado y A. Vizcaino, 2005. Agent-based Ambient Intelligence for Healthcare. *AI Communications* 18(3): 201 - 216.
- Roman, G. C., 2003. Stroke, Cognitive Decline and Vascular Dementia: The Silent Epidemic of the 21st Century. *Neuroepidemiology* 22: 161–164.
- Saha, D. y A. Mukherjee, 2003. Pervasive Computing: A Paradigm for the 21st Century. *IEEE Computer* 36(3): 25-31.
- Sanchez, D., J. Favela y M. Tentori, 2008. Activity recognition for the Smart Hospital. *IEEE Intelligent Systems* 23(2): 50-57.
- Sanchez, D., M. Tentori y J. Favela, 2007. Hidden Markov Models for Activity Recognition in Ambient Intelligence Environments. ENC, Morelia, Michoacan.
- Satyanarayanan, M., 1992. The Influence of Scale on Distributed File System Design. *IEEE Trans. Software Eng.* 18(1): 1-8.
- Schäl, T., 1996. Workflow Management Systems for Process Organisations, Berlin: Springer Verlag.
- Scholtz, J. y S. Consolvo, 2004. Towards a discipline for evaluating ubiquitous computing applications. Technical Report IRS-TR-04-004, 2004.
- Segura, D., 2008. Pantallas ambientales en hospitales. Tesis de maestria, CICESE.
- Segura, D., J. Favela y M. Tentori, 2008. Sentient displays in support of hospital work. UCAMI, Salamanca, Spain, Springer.
- Skov, B. M. y R. T. Hoegh, 2006. Supporting information access in a hospital ward by a context-aware mobile electronic patient record. *Personal and Ubiquitous Computing* 10(4): 205-214.
- Smith, K. S. y S. E. Ziel, 1997. Nurses' duty to monitor patients and inform physicians. *AORN Journal* 1(2): 235-238.
- Stewart, R., 1965. The use of diaries to study managers' jobs. *Journal of Management Studies* 2(2): 228.
- Strauss, A. y J. Corbin, 1998. Basics of Qualitative Research: Techniques and procedures for developing grounded theory. Thousand Oaks, CA.
- Streitz, N. y P. Nixon, 2005. The disappearing computer. *Communications of the ACM* 48(3).
- Stuart, C., T. P. Morant y A. Newell, 1983. The Psychology of Human Computer Interaction.
- Suchman, L., 1987. Plans and situated actions. The problem of human-machine communication, Cambridge: Cambridge University Press.
- Tennenhouse, D., 2000. Embedding the Internet: proactive computing. *Communications of the ACM* 43(5): 43-50.
- Tentori, M. y J. Favela, 2008. Activity-aware computing for healthcare. *IEEE Pervasive Computing* 7(2): 51-57.
- Voida, S., E. D. Mynatt, B. MacIntyre y G. M. Corso, 2002. Integrating virtual and physical context to support knowledge workers. *IEEE Pervasive Computing* 1(3): 73–79.

- Weiser, M., 1991. The Computer for the 21st Century. *Sci American* 265(3): 94 -104.
- Weiser, M., 1993. Some Computer Science Problems in Ubiquitous Computing. *Communications of the ACM* 36(7): 78-84.
- Weiser, M. y J. S. Brown, 1995. Designing Calm Technology. *PowerGrid* 1(1).
- Werb, J. y C. Lanzl, 1998. Designing a positioning system for finding things and people indoors. *IEEE Spectrum* 35(9): 71-78.
- Wilson, D. H., S. Consolvo, K. Fishkin y M. Philipose, 2005. Assessment of the Activities of Daily Living of the Elderly. *Workshps, HCI Challenges in Health Assesment*, Portland, Oregon.