

Soporte para la Medición y Evaluación de la Accesibilidad al Contenido en Aplicaciones Web

Cecilia Gallardo¹, Ana Funes² y Hernán Ahumada¹

¹ Departamento de Informática, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas,
Universidad Nacional de Catamarca, Maximio Victoria 55, 4700 Catamarca, Argentina
{ceciliagallardo, hermanahumada}@tecno.unca.edu.ar

² Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales,
Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, 5700 San Luis, Argentina
afunes@unsl.edu.ar

Resumen. En todo sistema software, la Accesibilidad es un requisito de calidad de un alto nivel de abstracción, que resulta complejo por las múltiples dimensiones que abarca. En las aplicaciones web este requisito tiene aún mayor importancia, puesto que se necesita presentar el contenido de manera que no dificulte o imposibilite la utilización del sistema web a grupos de usuarios heterogéneos.

Para evaluar el grado de cumplimiento de la Accesibilidad al contenido en una aplicación web, se deben identificar y especificar de manera exhaustiva las características y atributos que permitan realizar una cuantificación y cálculo de indicadores de satisfacción de los requisitos de calidad.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un modelo de conceptos de calidad correspondiente a la sub-característica Accesibilidad del modelo de calidad ISO 25010, basado en las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (WCAG) 2.0. Así también, se ha diseñado un modelo cuantitativo, aplicando el método LSP (Logical Scoring of Preference), que permite reflejar la capacidad global del sistema evaluado para satisfacer todos los requisitos de Accesibilidad al Contenido Web. Como complemento al modelo propuesto, se describe el prototipo de una aplicación web que brinda soporte y automatización en el proceso de medición y evaluación de la calidad en aplicaciones web.

1 Introducción

En la actualidad, las aplicaciones web se han convertido en una plataforma de comunicación e interacción esencial para muchas organizaciones e individuos, siendo cruciales para el comercio electrónico, el intercambio de información y una gran cantidad de actividades sociales, educativas, gubernamentales, entre muchas otras. Por esta razón, es importante que ofrezcan servicios de calidad; principalmente, un contenido accesible, que no presente barreras que dificulten o imposibiliten la utilización del sistema web, proporcionando un acceso equitativo e igualdad de oportunidades a las personas con discapacidades o con capacidades disminuidas.

La *Accesibilidad* constituye un requisito de calidad, especificado mediante el Modelo de Calidad de Producto Software del estándar ISO/IEC 25010 [1] como una subcaracterística de la *Usabilidad*. En este estándar, se define a la *Accesibilidad* como el “grado en que un producto o sistema puede ser utilizado por personas con la más amplia gama de características y capacidades para lograr un objetivo determinado en un contexto de uso especificado”. A su vez, existen otros trabajos provenientes del área de Ingeniería Web [2-6] donde, al igual que en el estándar ISO/IEC 25010, no identifican ni definen, de manera exhaustiva, los atributos que permitan medir y evaluar un concepto de alto nivel y tan complejo como la accesibilidad a nivel general, ni tampoco la accesibilidad al contenido web como un enfoque más específico.

Por otra parte, desde otro contexto y con un enfoque práctico, la iniciativa WAI (Web Accessibility Initiative)¹ del Consorcio W3C ha desarrollado sus Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) versión 2.0 [7], entendiéndose por *contenido web* la información dentro de una página web (texto, imágenes y sonidos, código o marcado, etc). WCAG 2.0 constituye un estándar internacional que proporciona pautas, criterios de éxito comprobables y técnicas, utilizados para evaluar los requerimientos de accesibilidad web de acuerdo a diversas necesidades.

Por ello, resulta necesario como punto de partida para la medición y evaluación de la *Accesibilidad*, la existencia de un modelo integral de atributos de calidad, que sirva de referencia para especificar, de manera precisa, los requisitos de accesibilidad al contenido web, tomando en cuenta las necesidades concretas de los usuarios según las aplicaciones objeto de evaluación, y que considere además el valioso aporte y recomendaciones de las pautas WCAG 2.0.

No obstante, para la medición y evaluación de la calidad de un producto de software, necesitamos modelos de calidad que consideren las características, atributos y relaciones que sean relevantes para un propósito dado y una necesidad de información de una categoría de entidad en concreto, como así también, es necesario contar con un enfoque transversal que guíe el proceso completo de medición y evaluación de la calidad. Es por ello, que para llevar a cabo este trabajo, se ha elegido adoptar la estrategia integrada de Medición y Evaluación (M&E) GOCAME (Goal-Oriented Context-Aware Measurement and Evaluation) [8].

GOCAME es una estrategia multipropósito que sigue un enfoque orientado a objetivos, en el cual todas las actividades son guiadas por un estado y necesidad de información específica [8-9]. Las actividades propuestas por la estrategia GOCAME siguen una secuencia determinada y se nutren de artefactos de entrada que surgen como salida de otra actividad. Así también, se involucran cálculos complejos, como en el caso de la obtención de valores de métricas e indicadores. Por esta razón, resulta fundamental contar con una herramienta software que gestione las distintas especificaciones que resultan de las actividades de GOCAME y que a la vez realice los cómputos de métricas e indicadores que permitan obtener los resultados finales de un proyecto de medición y evaluación de la calidad de un producto software.

Teniendo en cuenta las necesidades formuladas, en este trabajo, se presenta una propuesta de soporte para la medición y evaluación de la accesibilidad al contenido

¹ WAI en: <https://www.w3.org/WAI/>

web, consistente, por un lado, en un modelo de conceptos de calidad correspondiente a la sub-característica Accesibilidad del modelo de calidad ISO 25010, desarrollado analizando las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (WCAG) 2.0 y siguiendo los lineamientos de la estrategia integrada de Medición y Evaluación GOCAME [10]. Como parte de la estrategia adoptada, también se ha desarrollado un modelo cuantitativo, basado en el método LSP (Logical Scoring of Preference) [11-13], que permite reflejar la capacidad global del sistema evaluado para satisfacer todos los requisitos de Accesibilidad al Contenido Web. Por otro lado, como parte integral de la propuesta, se presenta como soporte a la estrategia GOCAME una aplicación web denominada M&ECalidadWeb, que permite la gestión y ejecución de artefactos para la medición y evaluación de aplicaciones web.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan algunos trabajos relacionados. Las secciones 3 y 4 forman el núcleo de este trabajo; en ellas se presentan el modelo de calidad propuesto y la aplicación web M&ECalidadWeb, junto con un caso de estudio de evaluación de la accesibilidad. Finalmente, la sección 5 plantea las conclusiones y los trabajos futuros en esta área.

2 Trabajos Relacionados

Las Aplicaciones Web poseen características propias que se diferencian de las del software tradicional; a su vez, existen diferentes categorizaciones de sistemas basados en la Web, lo que las convierte en artefactos particulares [14]. Sin embargo, al igual que las aplicaciones software tradicionales, los sistemas web también involucran código fuente y ejecutable, bases de datos, y especificaciones de requerimientos, de arquitectura, de diseño y pruebas. Por consiguiente, algunos trabajos [15], sostienen que los modelos de calidad ISO son también aplicables en gran medida a los productos resultantes del ciclo de vida del desarrollo web. Aunque, en algunos casos, resulte necesario adaptar los modelos de calidad de acuerdo a las particularidades específicas de los requerimientos de calidad web.

En este contexto, Olsina et. al [9] proponen la versión 2.0 de un framework de modelado de calidad web denominado 2Q2U, el cual es una extensión del framework y modelos de calidad de ISO/IEC 25010 y además, es una actualización de la versión 1.0 de 2Q2U [16], donde se agregan características y sub-características de acuerdo a la nueva generación de Aplicaciones Web.

Por otra parte, Brajnik [2] considera que la gran cantidad de pautas de diseño, técnicas de análisis informales para sitios web (tales como las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web definidas por W3C/WAI) y herramientas software, se pueden utilizar como una base para un modelo de calidad web. Particularmente, en el trabajo de este autor se presenta un caso de estudio centrado en un método específico, llamado *seguimiento de página*, para considerar la utilidad de reglas usadas por una de dichas herramientas software.

Por su parte, Offut [3] analiza e identifica ocho características de calidad de las aplicaciones web, aunque sin detallar la forma de evaluarlas: fiabilidad, usabilidad,

seguridad, disponibilidad, escalabilidad, mantenibilidad, performance, y time-to-market (momento de comprar).

Así también, Hasan y Abuelrub [4] proponen un framework teórico, integral y medible, para estimar la calidad de cualquier sitio web independientemente del tipo de servicio que éste ofrezca. Básicamente, los autores proponen un criterio integral de 4 dimensiones que abarcan: calidad del contenido, calidad del diseño, calidad de la organización, y calidad de uso. A su vez, por cada dimensión se definen sub-características de alto nivel de abstracción.

Orehovacki [5] proporciona la base teórica para el desarrollo de un conjunto de atributos que son necesarios considerar en el aseguramiento de la calidad general de aplicaciones web 2.0. Este autor distribuye todos los atributos dentro de seis categorías básicas: calidad de sistema, calidad de servicio, calidad de información, rendimiento, esfuerzo y aceptabilidad. Cabe mencionar que dentro de la categoría *esfuerzo*, se contempla a la *accesibilidad* como un atributo de calidad, el cual es satisfecho si las funcionalidades de interfaz necesarias para realizar la actividad en curso están siempre presentes en la pantalla, o si hay funcionalidades de interfaz que pueden ser personalizadas para las personas con discapacidad.

Por otro lado, Polillo [6] propone un enfoque metodológico para cualquier clase de sitio web. Su enfoque incluye un modelo de calidad práctico que ayuda a identificar las necesidades de los usuarios y también, constituye una herramienta para mantener la calidad de aplicaciones web 2.0 durante todas las fases del ciclo de vida de desarrollo. Para esto, el autor propone un modelo de calidad conformado por nueve características de alto nivel que influyen en la calidad de estos componentes: *Arquitectura, Comunicación, Funcionalidad, Contenido, Comunidad, Plataforma, Accesibilidad, Usabilidad* y *Codificación*. Tanto la *Usabilidad* como la *Accesibilidad* son definidas en este enfoque de acuerdo al significado del modelo de calidad de ISO, donde se especifican además, un grupo de sub-características por cada característica de alto nivel, aunque el autor aclara que posteriormente se deben definir las sub-sub-características que se adapten a los tipos específicos de sitios web analizados y su contexto. Para el caso de la característica de alto nivel *Accesibilidad*, propone las siguientes sub-características: *facilidad para encontrar, requerimientos del grupo de usuarios, independencia del cliente y requisitos de capacidad del usuario*.

A partir del análisis de los modelos de calidad web antes descritos, e incluso del modelo de calidad de ISO/IEC 25010, se puede concluir que en la mayoría de los casos se contempla y define a la *Accesibilidad* como una característica de alto nivel de abstracción. Sin embargo, en ninguno de ellos se especifican sub-características y atributos de bajo nivel (medibles) específicos que permitan obtener un indicador del nivel de satisfacción de accesibilidad alcanzado por una aplicación web, como en el caso de nuestro modelo.

3 Modelo de Calidad para Medir y Evaluar la Accesibilidad al Contenido Web

En los siguientes apartados se exponen, de manera resumida, los principales artefactos resultantes de la estrategia GOCAME, aplicada a la necesidad de evaluación de la Accesibilidad del Contenido en Aplicaciones Web.

3.1 Modelo de Conceptos de Calidad

El principal artefacto resultante de la actividad *A1-Definir los requisitos no funcionales* de GOCAME es un modelo en forma de árbol, que contiene los requerimientos no funcionales, es decir, las características, sub-características y atributos, considerados para el proceso de evaluación del aspecto de calidad planteado para el proyecto. En dicho modelo, se define como característica calculable a aquella característica que no puede ser medida directamente sino que su valor se obtiene en base a otras sub-características y y/o atributos que la definen; es decir, son aquellas que representan conceptos de alto nivel de abstracción. Una sub-característica, es a su vez, una característica calculable, mientras que se habla de atributos cuando estas características pueden ser medidas en forma directa mediante una métrica y constituyen las hojas del árbol.

Para esta actividad, se consideró la sub-característica Accesibilidad de la característica de calidad Usabilidad de la norma ISO 25010 [1], enriquecida con sub-características, atributos y relaciones, que permitan evaluar la *Accesibilidad al Contenido Web*. Para esto se realizó un análisis exhaustivo de la documentación provista por las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.0², considerando todas las pautas, principios, criterios de conformidad Nivel A y técnicas suficientes y de asesoramiento relacionadas con las tecnologías HTML (HyperText Markup Language), CSS (Cascading Style Sheets), y scripting del lado cliente y del servidor [17], obteniéndose un modelo para la característica principal Accesibilidad al Contenido Web, compuesto por 28 sub-características y 60 atributos medibles (hojas del árbol). En la Tabla 1 se muestra un extracto del modelo resultante, hasta un tercer nivel de desagregación de características, con excepción de la sub-característica 1.2.4 que se muestra completamente expandida, con todas sus sub-características y atributos que intervienen en la especificación; estos últimos en letra cursiva para su mejor identificación.

3.2 Diseño de Métricas

Siguiendo el proceso definido en GOCAME, la actividad *A2-Diseñar la medición*, consiste en seleccionar una métrica adecuada, desde un repositorio de métricas, para cada atributo del árbol de requerimientos, en caso de contar con tal tipo de repositorios.

² WCAG 2.0 en: <https://www.w3.org/WAI/WCAG20/quickref/#qr-text-equiv-all>

Tabla 1. Extracto del Modelo de calidad para Accesibilidad al Contenido Web

1. Accesibilidad al Contenido Web
1.1. Perceptibilidad del contenido
1.1.1. Alternativas textuales adecuadas para contenido no textual
1.1.2. Alternativas adecuadas para medios basados en tiempo
1.1.3. Adaptabilidad del contenido
1.1.4. Contenido distinguible
1.2. Navegación y componentes IU operables
1.2.1. Funcionalidad operable completamente desde teclado
1.2.2. Tiempo suficiente para usar el contenido web
1.2.3. Diseño de contenido que no causa convulsiones
1.2.4. Diseño navegable
1.2.4.1. Acceso directo a Secciones principales del Contenido
1.2.4.1.1. <i>Enlaces adecuados para acceder directamente a secciones principales</i>
1.2.4.1.2. <i>Mecanismo adecuado para omitir una sección complementaria</i>
1.2.4.2. Títulos adecuados de páginas web
1.2.4.2.1. <i>Uso adecuado de título de página web</i>
1.2.4.2.2. <i>Identificación de la relación de página web actual con el conjunto de páginas a la que pertenece</i>
1.2.4.3. Orden de enfoque de componentes adecuado
1.2.4.3.1. <i>Elementos del contenido posicionados o tabulados adecuadamente</i>
1.2.4.3.2. <i>Contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente</i>
1.2.4.3.3. <i>Orden de enfoque personalizado por el usuario</i>
1.2.4.4. Uso e identificación adecuada del propósito de enlaces
1.2.4.4.1. <i>Combinación e identificación adecuada de texto del enlace con información de contexto</i>
1.2.4.4.2. <i>Determinación del valor de enlace</i>
1.2.4.4.3. <i>Personalización adecuada de texto de enlaces</i>
1.2.4.4.4. <i>Información adicional para enlaces</i>
1.3. Comprensibilidad del contenido
1.3.1. <i>Legibilidad de contenidos textuales mediante correcta identificación del idioma</i>
1.3.2. Previsibilidad del contenido
1.3.3. Asistencia en el ingreso de datos en formularios web
1.4. Robustez del contenido y compatibilidad
1.4.1. <i>Correctitud sintáctica</i>
1.4.2. <i>Validación satisfactoria de páginas web</i>

Para el presente trabajo, resultó necesario definir y acordar cada una de las métricas utilizadas, debido a la inexistencia de tal repositorio. Las métricas propuestas han sido definidas para cumplir con los atributos del modelo, los cuales poseen una relación muy estrecha con las técnicas suficientes del estándar WCAG 2.0, es decir, reflejan las formas confiables de satisfacer los criterios de conformidad de la norma. Por ejemplo, para el atributo 1.2.4.3.2. Contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente, hubiese bastado con definir una función binaria (100=cumple/0=no cumple). Sin embargo, dada la riqueza del método, hemos optado por la definición de una métrica que aplica una escala de proporción, que devuelve valores entre 0 y 100, donde 0 corresponde a la ausencia total de satisfacción del criterio, pasando por valores intermedios hasta llegar a 100, valor que corresponde con el cumplimiento total del atributo del árbol de requerimientos. En la Tabla 2 se puede observar la definición de la métrica que permite cuantificar al atributo 1.2.4.3.2.

Tabla 2. Métrica indirecta %CA12432: Porcentaje de páginas web con contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente

• Atributo: Contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente
• Métricas relacionadas: #TA14-Número total de páginas web; #CA12432-Número de páginas web con contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente
• Método de Cálculo: Si #TA14>0→%CA12432= (#CA12432 / #TA14)*100 Si #TA14=0→%CA12432=100 ya que no se considera incumplimiento del atributo sino ausencia de ítems relacionados al mismo.
• Datos de Escala Numérica. Representación: continua; tipo de valor: real; tipo de escala: proporción; unidad: porcentaje

3.3 Diseño de Indicadores

En esta sección se describe, tal como lo establece el proceso de GOCAME, la actividad *A4-Diseñar la evaluación*, donde se deben diseñar indicadores, los cuales permiten interpretar los valores de los atributos a partir del resultado de cada métrica, así como de las características y sub-características de más alto nivel del árbol de requerimientos, permitiendo conocer de este modo no solo el grado de satisfacción global sino de sub grupos de requisitos.

Se identificaron dos tipos de indicadores: 1) Indicador elemental, que interpreta el valor de un atributo mediante el uso de un modelo elemental y 2) Indicador parcial/global, valor que deriva de otros indicadores de menor nivel y que permite evaluar una (sub)característica calculable de nivel medio o alto de abstracción.

Las escalas de indicadores son interpretadas utilizando criterios de decisión acordes (también llamados niveles de aceptación), los cuales ayudan a analizar el nivel de satisfacción alcanzado por cada atributo, sub-característica o característica.

Respecto a los *indicadores elementales*, en nuestro análisis se determinó que la correspondencia entre métrica e indicador elemental es directa, ya que todas las métricas definidas poseen una escala porcentual que determina el nivel de cumplimiento del requisito. Esto es posible porque tanto la métrica y el indicador, poseen la misma escala y unidad. Por otra parte, para definir el modelo de agregación de los valores de *indicadores parciales y global* aplicamos el Método cuantitativo de Puntuaciones Lógicas de Preferencias (LSP) [12], que se basa en técnicas de puntuación y lógica continua de preferencias y que ha sido incorporado por la metodología WebQEM [18], la que a su vez forma parte de la estrategia GOCAME.

Un modelo de agregación LSP permite computar indicadores parciales/global a partir de los indicadores elementales o parciales según el grado de anidamiento del árbol de requerimientos en el cual esté situada la sub-característica (o atributo) analizada. Cada indicador parcial hace uso de al menos otros 2 indicadores elementales (o parciales) de menor jerarquía en el árbol de requerimientos. De esta manera, para n valores de métricas correspondientes a los atributos del árbol de requerimientos, se obtienen, mediante el modelo elemental, n indicadores elementales. Luego, aplicando un mecanismo de agregación (o composición) paso a paso, los indicadores elementa-

les se pueden ir agrupando convenientemente para producir una *estructura de agregación* final que permitirá obtener un solo indicador global e indicadores parciales, que representan el grado de satisfacción de todos los requerimientos de calidad y de las distintas características y sub-características, respectivamente.

En el modelo de estructura de agregación desarrollado, básicamente se utilizaron seis operadores GCD (Generalized Conjunction Disjunction) de la lógica continua de LSP: C+, C-, C--, A, DA y D++. En la mayoría de los casos, los atributos deseables de un subárbol, se consideraron con una relación de simultaneidad, es decir, todos ellos deben ser satisfechos, modelándose dicha relación mediante el operador C-, el cual representa una relación de cuasi-conjunción débil, o bien, mediante el operador C--, que modela una relación de cuasi-conjunción más débil que C- y más cerca del operador A (media aritmética). En ambos casos, un 0 (cero) en alguno de los indicadores de entrada no producirá un 0 (cero) en la salida, si bien castigará a la misma.

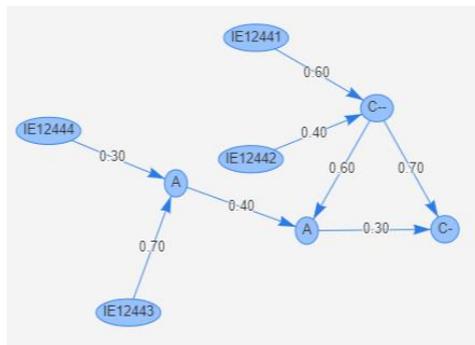


Fig. 1. Estructura de agregación LSP para la sub-característica 1.2.4.4

La Figura 1 muestra la estructura de agregación de los atributos de la sub-características 1.2.4.4. *Usos e identificación adecuada del propósito de enlaces* (ver Tabla 1), donde se requiere que el texto proporcionado con el enlace o su información de contexto sea adecuada y que a la vez se pueda determinar el valor del enlace, y como ayuda adicional se pueda personalizar el texto de un enlace o brindar información extra para el mismo (atributos 1.2.4.4.1 a 1.2.4.4.4). En este caso, los dos primeros requisitos son considerados deseables y los dos últimos opcionales, es por ello que se aplica una estructura de absorción parcial de LSP donde intervienen los operadores C- y C-- que castigan la ausencia de atributos y el operador A, que modela una relación que no posee polarización y que está en el medio entre los operadores de reemplazabilidad y de simultaneidad (para requisitos opcionales).

4 La Aplicación M&ECalidadWeb

Con el fin de brindar soporte automatizado al evaluador durante el proceso de medición y evaluación de la calidad en Aplicaciones Web, se desarrolló el sistema web M&ECalidadWeb, basado en el marco conceptual C-INCAMI (Contextual-Information Need, Concept model, Attribute, Metric and Indicator) [8] y en las espe-

cificaciones del proceso de medición y evaluación de calidad, ambos componentes principales de la estrategia GOGAME [10]. Así también, en algunas cuestiones, M&ECalidadWeb se ajusta al dominio del modelo desarrollado, tal como se comentará en los siguientes párrafos.

El objetivo de M&ECalidadWeb es gestionar toda la información que resulta del diseño de la medición y evaluación de la calidad en aplicaciones web, para luego calcular en forma automática los indicadores parciales y global, proceso que resulta muy complejo si se debe realizar en forma manual.

M&ECalidadWeb se implementó mediante el framework de código abierto para desarrollo web Grails [19] y el lenguaje dinámico de programación Groovy [20], el cual también se ejecuta sobre la plataforma Java. Grails es un framework que se basa en el patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC), que promueve la reutilización de código y la separación de conceptos, características que buscan facilitar la tarea de desarrollo de aplicaciones y su posterior mantenimiento.

Siguiendo el marco conceptual C-INCAMI de GOCAME y las necesidades propias del modelo de calidad de la accesibilidad web se creó el modelo de clases de dominio del sistema M&ECalidadWeb, mostrado en la Figura 2, el cual refleja los principales conceptos de la aplicación y sus relaciones.

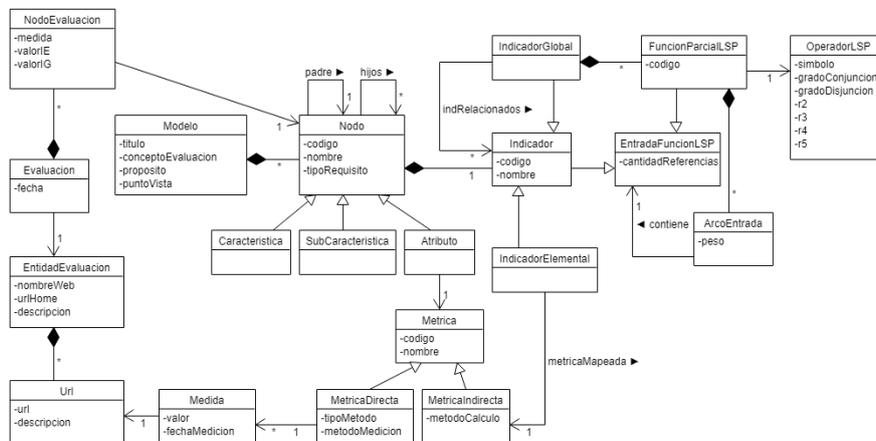


Fig. 2. Modelo de clases del dominio de M&ECalidadWeb

4.1 Principales Funcionalidades de M&ECalidadWeb

A continuación, se explican las principales funciones de M&ECalidadWeb, aplicadas a un proyecto de medición y evaluación de la accesibilidad al contenido web. Se define la *necesidad de información* para el presente caso de estudio como “conocer, examinar y evaluar la característica de calidad externa *Accesibilidad al Contenido Web* de Aplicaciones Web, desde el punto de vista de usuarios con algún tipo de discapacidad total, parcial y/o personas mayores”. La entidad de evaluación seleccionada

es el sitio web de ANSES³, donde el subconjunto de páginas web a evaluar son las relacionadas con la categoría *Embarazo y nacimiento*.

M&ECalidadWeb cuenta con una portada principal con un panel de opciones para acceder a toda la funcionalidad de la aplicación, tal como se describe a continuación y se muestra en la Figura 3.



Fig. 3. Portada principal de M&ECalidadWeb

- Gestión de Modelos de Calidad, cuyos datos principales son: título, concepto de evaluación, propósito, punto de vista de evaluación, y un árbol de requerimientos que se compone de la característica de evaluación principal, sub-características y atributos. En la Figura 4 se muestra un extracto del modelo desarrollado para la evaluación de la *Accesibilidad al Contenido Web*. La aplicación permite indicar para cada atributo del árbol, el código de la métrica que lo cuantifica y el código del indicador elemental correspondiente, y para el caso de las sub-características y *características*, *mostrar el código* del indicador parcial/global asociado.
- Gestión de Métricas Directas, donde además de un código y nombre, se puede especificar el procedimiento de medición con el cual se obtiene un valor de medida de un atributo en particular. En la mayoría de los casos, este tipo de métricas son auxiliares y se utilizan en la especificación de métricas indirectas.
- Gestión de Métricas Indirectas, para las cuales M&ECalidadWeb permite registrar un código, nombre, atributo del árbol de requerimientos a la que corresponde, métricas relacionadas y además, un método de cálculo que consiste en un algoritmo de programación escrito en lenguaje Groovy. Esto permite realizar un cálculo automático para obtener el valor de medida del atributo correspondiente.
- Gestión de Indicadores Elementales, los cuales evalúan los atributos del árbol de requerimientos. Para el caso del modelo de calidad de accesibilidad web desarrollado se ha considerado que la correspondencia entre métrica e indicador elemental es directa, ya que todas las métricas definidas poseen una escala porcentual que se corresponde con el nivel de cumplimiento del requisito. Es por ello, que al regis-

³ <https://www.anses.gob.ar/>

trarse un nuevo indicador elemental, solo se debe indicar, además de un código y nombre, a qué atributo del árbol de requerimientos corresponde, recuperándose automáticamente la métrica asociada al atributo.



Fig. 4. Gestión de Modelo de Calidad en M&ECalidadWeb

- Gestión de Indicadores Parciales/Global, que permiten evaluar una característica calculable de nivel medio o alto de abstracción, haciendo uso de un modelo especificado por el método LSP, tal como se explicó en secciones anteriores. Al registrar un indicador parcial/global, se debe ingresar un código y nombre. M&ECalidadWeb presenta una lista de las sub-características y característica del modelo indicado, para que el usuario seleccione una en particular y de esta manera el sistema pueda recuperar todos los indicadores elementales o parciales correspondientes a los atributos o conceptos anidados bajo la característica seleccionada. A continuación se debe gestionar la estructura de agregación LSP correspondiente. En la Figura 5 se muestra la interfaz donde se ven los datos básicos de un indicador parcial/global, como así también, un grafo para representar la estructura de agregación de las funciones GCD asociadas al indicador.
- Gestión de funciones de agregación GCD para un Indicador Parcial/Global, que permiten componer una *estructura de agregación LSP*, indicando sus entradas, peso y operador GCD. Con el fin de definir una entrada a una función GCD, M&ECalidadWeb muestra una lista desplegable que contiene los indicadores elementales o parciales anidados bajo la sub-característica correspondiente al indicador seleccionado. Además, el sistema incorpora de forma dinámica a esta lista la salida de la estructura de agregación asociada al indicador en cuestión, de manera que quede disponible como entrada para un próximo paso de agregación de carac-

terísticas. En la Figura 6, se muestra la correspondiente interfaz en M&ECalidadWeb, en donde se observa cuáles son las salidas de funciones o los indicadores elementales que pueden ser seleccionados como entrada de un nuevo operador, en este caso el operador A. Se muestra seleccionada $C--(IE13311, IE13312)$, que representa la salida correspondiente a un operador C--, el cual ya ha agregado los indicadores elementales IE13311 y IE13312.

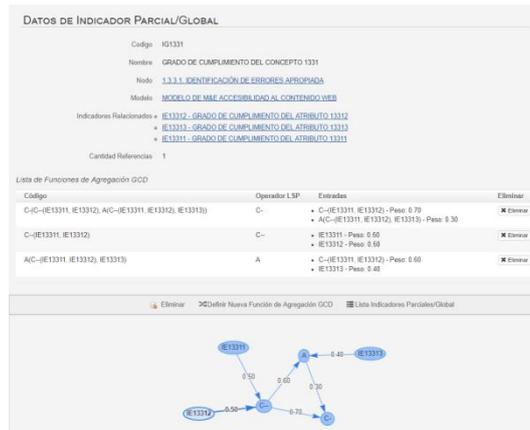


Fig. 5. Gestión de indicador parcial/global en M&ECalidadWeb

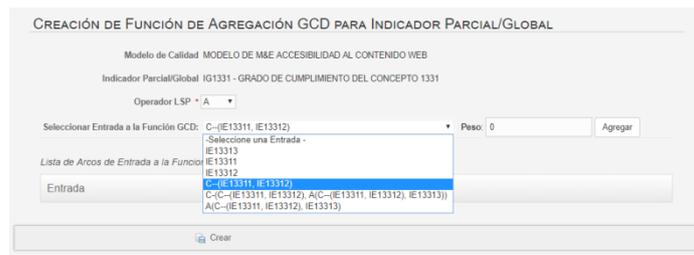


Fig. 6. Gestión de Función de Agregación GCD para Indicador Parcial/Global en M&ECalidadWeb

- Gestión de Entidades a evaluar, donde se debe ingresar el nombre de la aplicación web a evaluar, su URL principal y la colección de todas las URL de las páginas web que se desean revisar.
- Gestión de Operadores LSP, los cuales intervienen en la creación de una estructura de agregación LSP. Para registrar un nuevo operador LSP, M&ECalidadWeb solicita el ingreso del símbolo que lo representa, un nombre, el grado de conjunción y de disyunción, y los valores del exponente r de la función según la cantidad de entradas (de 2 a 5).
- Gestión de Medidas, que corresponden a los valores de las métricas directas en base a la observación y evaluación de una página web en particular. En ella se listan todas las métricas directas asociadas al modelo de calidad, para que el usuario del sistema ingrese/modifique los valores de la medición.

- Implementación de la Evaluación, donde el sistema solicita la selección de un Modelo de Calidad y una Entidad a evaluar para realizar los cálculos correspondientes. Con los valores registrados de las medidas de las métricas directas del modelo, M&ECalidadWeb realiza un recorrido del árbol de requerimientos desde las hojas a la raíz, para obtener los valores de las métricas indirectas de atributos (hojas del árbol) en base al método de cálculo especificado en cada una; luego, asigna este número al valor de los indicadores elementales. Finalmente, realiza el cálculo de los indicadores parciales de las sub-características y de la característica del árbol (raíz), devolviendo el valor de preferencia de cada indicador parcial/global. Esta funcionalidad de M&ECalidadWeb brinda un valor agregado a la fase de implementación de la evaluación, ya que de otra manera el evaluador debería realizar un sinnúmero de cálculos manuales, con altas probabilidades de cometer errores. En la Figura 7 se muestra un fragmento del resultado de la evaluación del sitio de ANSES en base a las medidas registradas y al modelo de evaluación propuesto, exponiendo los valores de indicadores elementales y parciales/global para cada ítem del árbol de requerimientos. M&ECalidadWeb muestra además, al lado de cada indicador, los niveles de aceptabilidad, como criterio de decisión, de acuerdo al siguiente criterio:

 - o *Rojo (Insatisfactorio)*: deben tomarse acciones de cambio con una alta prioridad, identificando aquellos aspectos más críticos ($0 \leq IP/IG \leq 35$).
 - o *Amarillo (Regular)*: necesidad de acciones de mejora ($35 < IP/IG \leq 70$).
 - o *Verde (Satisfactorio)*: calidad satisfactoria de la característica analizada, no requiriendo medidas correctivas ($70 < IP/IG \leq 100$).

Requisitos de calidad para el Concepto: ACCESIBILIDAD AL CONTENIDO WEB			
IC-Indicador Elemental	IP-IG-Indicador Parcial/Global	Medida	Valor IP/IG
1. ACCESIBILIDAD AL CONTENIDO WEB			100%
1.1. PERCEPTIBILIDAD DEL CONTENIDO			100%
1.1.1. ALTERNATIVAS TEXTUALES ADECUADAS PARA CONTENIDO NO TEXTUAL			100%
1.1.1.1. ALTERNATIVAS TEXTUALES CORRECTAS ADECUADAS PARA CIERTOS CONTENIDOS NO TEXTUALES			100%
1.1.1.1.1. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA UNA IMAGEN	100%		100%
1.1.1.1.2. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA UN GRUPO DE IMÁGENES ADYACENTES	100%		100%
1.1.1.1.3. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA COMPOSICIONES DE CARACTERES ASCII	100%		100%
1.1.1.1.4. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA CONTENIDO DE AUDIO Y VIDEO EN DIRECTO	100%		100%
1.1.1.1.5. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA REGIONES SELECCIONABLES DE MAPA DE IMAGEN	100%		100%
1.1.1.2. ALTERNATIVA TEXTUAL LARGA ADECUADA PARA CONTENIDO NO TEXTUAL	100%		100%
1.1.1.3. PERCEPTIBILIDAD DE PRUEBAS CAPTCHA			100%
1.1.1.3.1. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA CAPTCHA	100%		100%
1.1.1.3.2. DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA CUMPLIR PRUEBA CAPTCHA	100%		100%
1.1.1.4. MECANISMO ADECUADO DE OCULTAMIENTO PARA IMÁGENES DECORATIVAS	100%		100%
1.1.2. ALTERNATIVAS ADECUADAS PARA MEDIOS BASADOS EN TIEMPO			100%
1.1.2.1. TRANSSCRIPCIÓN TEXTUAL ADECUADA PARA MEDIOS BASADOS EN TIEMPO	100%		100%

Fig. 7. Fragmento de la evaluación del sitio de ANSES en M&ECalidadWeb

5 Conclusiones y Trabajos Futuros

Un primer aporte de este trabajo ha consistido en el desarrollo de un modelo de calidad compuesto por características, sub-características y atributos que permiten identificar, cuantificar y evaluar la Accesibilidad al contenido de aplicaciones web. Para ello, se analizaron exhaustivamente las pautas y criterios de conformidad de la norma WCAG 2.0, las cuales brindan un enfoque práctico de los aspectos que se deben cum-

plir para alcanzar el objetivo de la accesibilidad. Consideramos que el modelo de calidad desarrollado permitirá tanto a los diseñadores de sitios web como a los evaluadores de calidad, contar con criterios de evaluación, sistemáticamente definidos para satisfacer la accesibilidad al contenido web.

Otra contribución de este trabajo es el modelo cuantitativo para evaluar los atributos y características que hacen a la accesibilidad del contenido web. Dicho modelo permite obtener como resultado final un indicador global del grado de satisfacción de la accesibilidad. Para llegar al indicador global, previamente se obtienen indicadores parciales de diferentes dimensiones de la accesibilidad como requisito de calidad. El mismo ha sido desarrollado siguiendo las pautas del método LSP, mediante la construcción de estructuras de agregación de preferencias, reflejando con precisión las relaciones entre atributos (simultaneidad, reemplazabilidad, neutralidad) y todas las necesidades de los usuarios finales, que en este caso representan a aquellas personas con algún tipo de discapacidad o dificultad. Si bien el método LSP también permite la clasificación de los atributos como obligatorios, se evitó esta consideración ya que esto implica un modelo mucho más exigente, con la aplicación de funciones más conjuntivas, las que ante la ausencia de algún atributo obligatorio, anulan el resultado parcial y/o global de la evaluación.

Para dar soporte al proceso de medición y evaluación de la calidad en aplicaciones web, siguiendo la estrategia GOCAME, se expuso el prototipo de la aplicación web M&ECalidadWeb, cuyo objetivo es gestionar todos los artefactos resultantes de las distintas etapas del proceso mencionado. M&ECalidadWeb permite la gestión del modelo de calidad, el diseño de métricas e indicadores y la medición de páginas web. En base a ello, puede llevar a cabo el cómputo de métricas e indicadores para cada nivel del árbol de requerimientos, ahorrando al evaluador un sinnúmero de cálculos que, de realizarse de forma manual, existirían altas probabilidades de cometer errores. Finalmente, el hecho de llevar adelante el proceso completo de medición y evaluación de la calidad del software, referido al aspecto accesibilidad al contenido web, siguiendo los lineamientos de diferentes estrategias, metodologías y estándares, como lo son la estrategia GOCAME, el método LSP, la Ingeniería Web y los estándares ISO 25010 y WCAG2.0, ha permitido evidenciar los beneficios de utilizar disciplinas y metodologías consolidadas para formalizar el proceso de evaluación del software. En efecto, en este trabajo se pudo evidenciar su aplicabilidad en la evaluación de páginas web de ANSES, en donde el grado de cumplimiento global alcanzado para la característica Accesibilidad al Contenido Web fue del 43,53% (Figura 7), indicando, de acuerdo a los niveles de aceptabilidad establecidos, que si bien estos indicadores de satisfacción no son del todo bajos, es recomendable implementar acciones de mejora si se desea alcanzar un nivel aceptable de accesibilidad.

Como trabajo futuro se planea ampliar la funcionalidad de M&ECalidadWeb para soportar la semi-automatización del cómputo de las métricas directas en base al procedimiento de medición especificado, analizando el código de las páginas web de la entidad en evaluación. Por otra parte, es importante destacar el constante avance y aparición de nuevas tecnologías para el desarrollo web moderno, tanto desde el lado del cliente (frontend) tales como Bootstrap, Angular, React, etc. y también los frameworks de desarrollo del lado del servidor (backend). El factor común de estas tecno-

logías es que, con el objetivo de agilizar la construcción de sistemas web, generan código ya sea HTML, de hojas de estilos (CSS) o Javascript de forma predeterminada. Por ello, resulta necesario indagar y analizar si el código y estructuras de las páginas web generadas satisfacen los requisitos de accesibilidad al contenido web.

Referencias

1. ISO/IEC 25010: Systems and software engineering - System and software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models. (2011)
2. Brajnik, G.: Towards Valid Quality Models for Websites. 7th Conference on Human Factors and the Web. Madison, Wisconsin (2001)
3. Offutt, J.: Quality Attributes of Web Software App.. IEEE Software, Vol. 19 (2002) 25-32
4. Hasan, L., Abuelrub, E.: Assessing the quality of web sites. Applied Computing and Informatics, Vol. 9, Nº 1 (2011) 11-29
5. Orehovacki, T.: Proposal for a set of quality attributes relevant for Web 2.0 application success. Information Tech. Interfaces (ITI), 2010. 32nd Int. Conf. Cavtat, Dubrovnik (2010)
6. Polillo, R.: Quality Models for Web 2.0, Sites: A Methodological Approach and a Proposal. LNCS. Current Trends in Web Engineering, Vol. 7059 (2011) 251-265
7. WAI, W3C: Web Content Accessibility Guidelines 2.0 (2008). Disponible en: <https://www.w3.org/TR/WCAG20/>
8. Olsina, L., Papa, F., Molina, H.: How to Measure and Evaluate Web Applications in a Consistent Way. Web Engineering: Modelling and Implementing Web Applications. Springer-Verlag, London (2008) 385-420
9. Olsina, L., Lew, P., Dieser, A., Rivera, B.: Updating Quality Models for Evaluating New Generation Web Applications. Journal of Web Engineering (2012)
10. Becker, P., Papa, F., Olsina, L.: Enhancing the Conceptual Framework Capability for a Measurement and Evaluation Strategy. Current Trends in Web Engineering. Springer (2013) 104-116
11. Stanley, Y.S., Dujmovic, J., Batory, D., Navathe, S., Elnicki, R.: A cost-benefit Decision Model: Analysis, Comparison, and Selection of Data Management Systems. ACM Transactions on Database Systems, Vol. 12, Nº 3 (1987) 472-520
12. Dujmovic, J.: Continuous Preference Logic for System Evaluation. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 15, Nº 6 (2007) 1082 - 1099
13. Dujmovic, J.: A Method for Evaluation and Selection of Complex Hardware and Software Systems. The 22nd International Conference for the Resource Management and Performance Evaluation of Enterprise Computing Systems, CMG 96 Proceedings (1996)
14. Kappel, G., Pröll, B., Reich, S., Retschitzegger, W.: Web Engineering, The Discipline of Systematic Development of Web Applications. Germany: John Wiley & Sons (2003)
15. Olsina, L., Covella, G., Rossi, G.: Web Quality. Web Engineering. Springer (2006) 109-142
16. Lew, P., Olsina, L., Zhang, L.: Quality, Quality in Use, Actual Usability and User Experience as Key Drivers for Web Application Evaluation. 10th Int'l Congress on Web Engineering (ICWE2010). Vienne, Austria (2010)
17. Gallardo, C., Funes, A.: Un Modelo para la Evaluación de la Calidad de la Accesibilidad al Contenido Web. CONAISI 2015. Buenos Aires, Argentina (2015)
18. Olsina, L., Rossi, G.: Measuring Web Application Quality with WebQEM. IEEE Multimedia, Vol. 9, Nº 4 (2002) 20-29
19. Smith, G., Ledbrook, P.: Grails in Action. Manning Publications Co. Greenwich (2009)
20. Davis, A. L.: Learning Groovy. Apress (2016)