

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

TESINA DE GRADO  
PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE  
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

---

Hacia un prototipo certificado del sistema de  
seguridad de Android 9

---



*Alumno:*  
Guido De Luca

12 de septiembre de 2019



# Índice general

Estado del arte	5
Bibliografía	9



# Estado del arte

En esta sección se presentan algunos trabajos académicos relacionados con el modelo de seguridad de Android. Se organizará de la siguiente manera: primero, se describen trabajos informales<sup>1</sup> que son de interés por abarcar características nuevas, por la información que condensan o por ser pioneros en el área. Luego, se mencionan varias herramientas (o aplicaciones) que utilizan técnicas de análisis estático de código para detectar potenciales vulnerabilidades, todas desarrolladas dentro de un marco académico. A pesar de que este enfoque es distinto al que se propone en esta tesina, se tomó la decisión de incluirlo en este capítulo ya que conforma gran parte de la investigación actual y de los últimos años. Por último, se analizan aquellos trabajos que utilizan métodos formales para dar una especificación de la plataforma. Estos trabajos se describen con más detalle que los anteriores e incluso se contemplan artículos que no son recientes pero presentan un enfoque novedoso o relevante a este trabajo.

Dentro del primer grupo, se encuentran artículos como el de William Enck *et al.* [12]: uno de los primeros trabajos académicos en describir el modelo de seguridad de Android. Los autores buscaban *desenmascarar* la complejidad a la que debían enfrentarse los desarrolladores cuando se proponían construir aplicaciones seguras. A pesar de la antigüedad de este artículo, hoy en día sigue siendo relevante por la explicación concreta y concisa sobre las bases del sistema de permisos de Android. También se encuentra el trabajo de Wang y Wu [29], quienes resumen las vulnerabilidades que existen en el sistema de comunicación entre componentes, para luego discutir sobre el estado del arte en la detección y prevención de las mismas.

Recientemente, René Mayrhofer *et al.* [21] realizaron un trabajo similar para la versión 9.0 de Android. En él, se definen los principios de seguridad del sistema en cuestión y un modelo de amenazas *por capas*, a partir cual se derivan amenazas concretas que dependen de la cercanía entre atacante y dispositivo móvil. Además, este artículo analiza los cambios que se fueron introduciendo en el sistema operativo para mitigar estas amenazas.

Este tipo de trabajos constituyen un complemento importante a la documentación oficial de Android, brindándole referencias más claras a los desarrolladores y nuevas herramientas que permiten resguardar sus aplicaciones. Un ejemplo de esto fue el trabajo de Felt *et al.* [13], quienes estudiaron un grupo de aplicaciones disponibles para la versión 2.2 de Android y detectaron que muchas de ellas pedían más permisos de los que realmente necesitaban. Los autores investigaron las causas de sobreprivilegio de estas aplicaciones y encontraron

---

<sup>1</sup>Entendemos por trabajo informal a aquellos que describen coloquialmente el sistema, por más rigurosa que sea la descripción

que, muchas veces, los desarrolladores intentaban otorgar la menor cantidad de privilegios necesarios, pero en reiteradas ocasiones fallaban por falta de una documentación precisa. En consecuencia, el grupo desarrolló Stowaway, una de las primeras herramientas dedicadas a la detección de permisos innecesarios.

Actualmente existe una gran cantidad de herramientas de análisis estático que ayudan a detectar sobreprivilegios o un flujo de información indebido, siendo las más recientes: M-Perm [11], IC3 [23], Droidector [31], Covert [2] y Separ [4]. Las dos últimas combinan análisis estático con métodos formales para inferir automáticamente propiedades sobre un conjunto de aplicaciones y luego derivar políticas de seguridad. La gran oferta que existe de este tipo de aplicaciones, da lugar a trabajos como el Lina Qiu *et al.* [24], en el que se analizan y comparan las herramientas, que según los autores, son las más destacadas: Flowdroid combinada con IccTA [19], Amandroid [30] y DroidSafe [15].

Abordar la seguridad de Android con este enfoque presenta una diferencia fundamental con respecto a la que se propone en esta tesis: estas herramientas se focalizan en proteger una aplicación en particular (o en algunos casos, un conjunto de aplicaciones); mientras que una especificación formal de la plataforma subyacente permite extraer propiedades relevantes a **todas** las aplicaciones y al sistema en general. Por otro lado, este tipo de aplicaciones son un recurso más accesible para los usuarios que desean resguardar información sensible sin ser especialistas en el área.

Entrando en el terreno de los métodos formales, nos encontramos en primer lugar con el trabajo de Chaudhuri [10]. En el mismo, se desarrolló un lenguaje que permite describir un subconjunto de aplicaciones de Android y razonar sobre ellas. Adicionalmente, se presentó un sistema de tipos para este lenguaje y se demostró un teorema que garantiza que las aplicaciones bien tipadas preservan la confidencialidad de los datos que manejan. Parcialmente inspirado en este trabajo, Bugliesi *et al.* desarrollaron  $\pi$ -Perm [9], un sistema de tipos y efectos que tiene como finalidad detectar problemas de *privilege escalation*. De manera análoga al trabajo de Chaudhuri, una expresión bien tipada en  $\pi$ -Perm garantiza que la aplicación real a la cual está representando, no es vulnerable al ataque mencionado. Similarmente, Armando *et al.* definen un lenguaje [1], acompañado por su semántica operacional, que permite describir interacciones entre aplicaciones. Al igual que en los trabajos anteriores, se define un sistema de tipos y efectos; pero este está basado en un formalismo del estilo del álgebra de procesos, conocido como *history expressions* [6]. Puesto en términos simples, una *history expression* sirve para representar los efectos laterales vinculados a la seguridad del dispositivo, que se producen al realizar una computación. Finalmente, los autores prueban que cualquier comportamiento que la plataforma pueda tener en *runtime*, está contenido en este modelo; y por lo tanto, puede analizarse estáticamente.

Recientemente, Wilayat Khan *et al.* [16] retomaron el trabajo de Chaudhuri y modelaron el lenguaje en él definido dentro del *framework* lógico-matemático Coq [28]. De esta forma, pudieron no solo estudiar la corrección y seguridad de las aplicaciones de manera mecánica y rigurosa, sino que también utilizaron este asistente para probar la corrección -o *soundness*- del lenguaje en sí. En otro trabajo actual en el que participó Khan [17], se definió en Coq un modelo para estudiar el sistema de comunicación entre componentes. El principal objetivo de este trabajo es analizar la robustez de la plataforma cuando una aplicación detiene su ejecución a causa de un fallo en la resolución de un *intent*. A diferencia

del resto de los trabajos citados, éste se concentra en estudiar propiedades de *safety* y no de *security*, a pesar de que este sistema puede ser explotado para filtrar información sensible de los usuarios [19].

Por otra parte, Sadeghi *et al.* [25] presentan una formalización de la plataforma escrita en TLA+, un lenguaje especificación basado en la lógica lineal temporal [18]. Al incorporar el aspecto temporal al modelo, los autores buscan definir propiedades cuya veracidad dependa del momento en el que se la evalúe y de esta forma, modelar el comportamiento del sistema a medida que evoluciona en el tiempo. Luego, proponen un monitor de seguridad que otorga permisos temporales a las aplicaciones siempre y cuando se cumplan todas las propiedades (o reglas) de seguridad previamente definidas. Este permiso “prestado” es automáticamente revocado si en algún momento el sistema se encuentra en un estado que compromete alguna de las reglas.

Similarmente, Bagheri *et al.* [3] proponen una formalización del sistema de permisos de Android escrita en Alloy [22]: un lenguaje basado en la lógica relacional de primer orden, que incorpora una herramienta capaz de realizar análisis de satisfacibilidad automáticos sobre los modelos en él descritos. Con la ayuda de esta formalización, los autores identificaron distintos tipos de vulnerabilidades que permiten esquivar el chequeo de permisos. Particularmente, estudiaron la vulnerabilidad de permisos personalizados, mediante la cual una aplicación maliciosa puede acceder a todos los recursos de otra que estén protegidos por permisos personalizados. Esta falla surge de que el sistema no impone restricciones con respecto al nombre de los nuevos permisos que definen y, como consecuencia, dos permisos distintos podrían tener el mismo nombre. Este trabajo luego se extendió para una nueva versión de Android [5]. La falla por permisos personalizados había sido reportada previamente por Shin *et al.* [27]. Una diferencia fundamental entre este enfoque y el de esta tesina es el tipo de análisis que se realizó. A pesar de que Alloy es capaz de producir contraejemplos de manera automática, algo realmente útil a la hora de buscar potenciales fallas; no es posible demostrar propiedades de una manera rigurosa y formal.

En trabajos previos encabezados por Gustavo Betarte y Carlos Luna [7, 8, 20], se utilizó el asistente de pruebas Coq para modelar un sistema de transición de estados que representa, principalmente, los distintos estados que atraviesa la plataforma cuando se realizan operaciones sobre ella (por ejemplo, al instalar o desinstalar una aplicación). A partir de esta especificación, no solo se probaron propiedades relevantes a la seguridad del modelo, sino que también se extrajo una implementación certificada del mismo. Los autores explican cómo esta implementación puede utilizarse para generar casos de pruebas abstractos dentro del *testing* basado en modelos, o bien, cómo puede usarse para monitorear las acciones realizadas en un sistema real y evaluar si las propiedades deseadas efectivamente se cumplen. Estos trabajos presentan el modelo que será actualizado y extendido en esta tesina.

Un enfoque similar a este, es el de Wook Shin *et al.*, quienes también utilizaron Coq para modelar el sistema de permisos de Android [26]. Sin embargo, esta formalización no considera aspectos de la plataforma que sí son considerados por los trabajos anteriores (y por ende, por esta tesina); como por ejemplo, los distintos tipos de componentes, la interacción entre instancias de aplicaciones en ejecución y el sistema, la operación de escritura/lectura en un *content provider* y la semántica del sistema de delegación de permisos. Al mismo tiempo, cuando Android incorporó los permisos otorgados en *runtime*, este modelo no fue actua-

lizado. El trabajo de Fragkaki *et al.* también presenta un modelo formal basado en transiciones de estado [14], pero el mismo no está desarrollado dentro de un *framework* que permita realizar pruebas asistidas por computadora. Además, el modelo se corresponde con una de las primeras versiones de Android, por lo que tampoco contempla los cambios más recientes en el sistema de permisos.



# Bibliografía

- [1] Alessandro Armando, Gabriele Costa y Alessio Merlo. “Formal Modeling and Reasoning about the Android Security Framework”. En: *Trustworthy Global Computing*. Ed. por Catuscia Palamidessi y Mark D. Ryan. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, págs. 64-81. ISBN: 978-3-642-41157-1.
- [2] H. Bagheri y col. “COVERT: Compositional Analysis of Android Inter-App Permission Leakage”. En: *IEEE Transactions on Software Engineering* 41.9 (sep. de 2015), págs. 866-886. ISSN: 0098-5589. DOI: 10.1109/TSE.2015.2419611.
- [3] H. Bagheri y col. “Detection of design flaws in the Android permission protocol through bounded verification”. En: *Proceedings of the 2015 International Symposium on Formal Methods* volume 9019 of Lecture Notes in Computer Science (2015), págs. 73-89.
- [4] H. Bagheri y col. “Practical, Formal Synthesis and Automatic Enforcement of Security Policies for Android”. En: *2016 46th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)*. Jun. de 2016, págs. 514-525. DOI: 10.1109/DSN.2016.53.
- [5] Hamid Bagheri y col. “A Formal Approach for Detection of Security Flaws in the Android Permission System”. En: *Springer Journal on Formal Aspects of Computing* (2017). DOI: 10.1007/s00165-017-0445-z.
- [6] Massimo Bartoletti y col. “Types and Effects for Resource Usage Analysis”. En: *Proceedings of the 10th International Conference on Foundations of Software Science and Computational Structures*. FOSSACS’07. Braga, Portugal: Springer-Verlag, 2007, págs. 32-47. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1760037.1760043>.
- [7] Gustavo Betarte y col. “A certified reference validation mechanism for the permission model of Android”. En: *CoRR* abs/1709.03652 (2017). arXiv: 1709.03652. URL: <http://arxiv.org/abs/1709.03652>.
- [8] Gustavo Betarte y col. “Formal Analysis of Android’s Permission-Based Security Model”. En: *Scientific Annals of Computer Science* 26 (jun. de 2016), págs. 27-68. DOI: 10.7561/SACS.2016.1.27.
- [9] Michele Bugliesi, Stefano Calzavara y Alvis Spanò. “Lintent: Towards Security Type-Checking of Android Applications”. En: *Formal Techniques for Distributed Systems*. Ed. por Dirk Beyer y Michele Boreale. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, págs. 289-304. ISBN: 978-3-642-38592-6.

- [10] Avik Chaudhuri. “Language-based Security on Android”. En: *Proceedings of the ACM SIGPLAN Fourth Workshop on Programming Languages and Analysis for Security*. PLAS '09. Dublin, Ireland: ACM, 2009, págs. 1-7. ISBN: 978-1-60558-645-8. DOI: 10.1145/1554339.1554341. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1554339.1554341>.
- [11] P. Chester y col. “M-Perm: A Lightweight Detector for Android Permission Gaps”. En: *2017 IEEE/ACM 4th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft)*. Mayo de 2017, págs. 217-218. DOI: 10.1109/MOBILESoft.2017.23.
- [12] W. Enck, M. Ongtang y P. McDaniel. “Understanding Android Security”. En: *IEEE Security Privacy* 7.1 (ene. de 2009), págs. 50-57. ISSN: 1540-7993. DOI: 10.1109/MSP.2009.26.
- [13] Adrienne Porter Felt y col. “Android Permissions Demystified”. En: *Proceedings of the 18th ACM Conference on Computer and Communications Security*. CCS '11. Chicago, Illinois, USA: ACM, 2011, págs. 627-638. ISBN: 978-1-4503-0948-6. DOI: 10.1145/2046707.2046779. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2046707.2046779>.
- [14] Elli Fragkaki y col. “Modeling and Enhancing Android’s Permission System”. En: *Computer Security – ESORICS 2012*. Ed. por Sara Foresti, Moti Yung y Fabio Martinelli. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, págs. 1-18. ISBN: 978-3-642-33167-1.
- [15] Michael Gordon y col. “Information-Flow Analysis of Android Applications in DroidSafe”. En: ene. de 2015. DOI: 10.14722/ndss.2015.23089.
- [16] W. Khan y col. “Formal Analysis of Language-Based Android Security Using Theorem Proving Approach”. En: *IEEE Access* 7 (2019), págs. 16550-16560. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2895261.
- [17] Wilayat Khan y col. “CrashSafe: A Formal Model for Proving Crash-safety of Android Applications”. En: *Hum.-centric Comput. Inf. Sci.* 8.1 (dic. de 2018), 144:1-144:24. ISSN: 2192-1962. DOI: 10.1186/s13673-018-0144-7. URL: <https://doi.org/10.1186/s13673-018-0144-7>.
- [18] Leslie Lamport. *TLA+*. URL: <https://lamport.azurewebsites.net/tla/tla.html>.
- [19] L. Li y col. “IccTA: Detecting Inter-Component Privacy Leaks in Android Apps”. En: *2015 IEEE/ACM 37th IEEE International Conference on Software Engineering*. Vol. 1. Mayo de 2015, págs. 280-291. DOI: 10.1109/ICSE.2015.48.
- [20] Carlos Luna y col. “A formal approach for the verification of the permission-based security model of Android”. En: *CLEI Electronic Journal* 21 (ago. de 2018), 3:1-3:22. DOI: 10.19153/cleiej.21.2.3.
- [21] R. Mayrhofer y col. *The Android Platform Security Model*. 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1904.05572>.
- [22] Software Design Group at MIT. *Alloy*. URL: <http://alloytools.org/>.

- [23] Damien Ochteau y col. “Composite Constant Propagation: Application to Android Inter-component Communication Analysis”. En: *Proceedings of the 37th International Conference on Software Engineering - Volume 1*. ICSE ’15. Florence, Italy: IEEE Press, 2015, págs. 77-88. ISBN: 978-1-4799-1934-5. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2818754.2818767>.
- [24] Lina Qiu, Yingying Wang y Julia Rubin. “Analyzing the Analyzers: Flow-Droid/IccTA, AmanDroid, and DroidSafe”. En: *Proceedings of the 27th ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis*. ISSTA 2018. Amsterdam, Netherlands: ACM, 2018, págs. 176-186. ISBN: 978-1-4503-5699-2. DOI: 10.1145/3213846.3213873. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/3213846.3213873>.
- [25] Alireza Sadeghi y col. “A Temporal Permission Analysis and Enforcement Framework for Android”. En: *Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering*. ICSE ’18. Gothenburg, Sweden: ACM, 2018, págs. 846-857. ISBN: 978-1-4503-5638-1. DOI: 10.1145/3180155.3180172. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/3180155.3180172>.
- [26] W. Shin y col. “A Formal Model to Analyze the Permission Authorization and Enforcement in the Android Framework”. En: *2010 IEEE Second International Conference on Social Computing*. Ago. de 2010, págs. 944-951. DOI: 10.1109/SocialCom.2010.140.
- [27] W. Shin y col. “A Small But Non-negligible Flaw in the Android Permission Scheme”. En: *2010 IEEE International Symposium on Policies for Distributed Systems and Networks*. Jul. de 2010, págs. 107-110. DOI: 10.1109/POLICY.2010.11.
- [28] *The Coq Proof Assistant*. <https://coq.inria.fr/>.
- [29] Jice Wang y Hongqi Wu. “Android Inter-App Communication Threats, Solutions, and Challenges”. En: *CoRR* abs/1803.05039 (2018). arXiv: 1803.05039. URL: <http://arxiv.org/abs/1803.05039>.
- [30] Fengguo Wei y col. “Amandroid: A Precise and General Inter-component Data Flow Analysis Framework for Security Vetting of Android Apps”. En: *ACM Transactions on Privacy and Security* 21 (abr. de 2018), págs. 1-32. DOI: 10.1145/3183575.
- [31] S. Wu y J. Liu. “Overprivileged Permission Detection for Android Applications”. En: *ICC 2019 - 2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. Mayo de 2019, págs. 1-6. DOI: 10.1109/ICC.2019.8761572.