

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ -
UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA -
INGENIERÍA BIOMÉDICA**



FUNDAMENTOS DE BIODISEÑO

Entregable 3

AUTORES:

Santa Maria La Rosa Sanchez, Alejandro Sebastian

Santivañez Portella, Gael Franz

Torres Castañeda, Ricardo Percy

Valdivia Pari, Valeria Ivannia

Vásquez Cruz, Gustavo Alonso

Villarreal Mamani, Rosa Isabel

DOCENTES:

Juan Manuel Zuñiga

Grupo 15

CASO 1: INTERVENCIÓN TEMPRANA COMO AGENTE PARA LA RECUPERACIÓN DE LA FUNCIÓN DESPUÉS DE LA LESIÓN DE LA MÉDULA ESPINAL, UN SOLO ESTUDIO DE CASO

1) Caso referencia

El caso de estudio describe a un hombre de 20 años que sufrió una lesión medular traumática (LME) incompleta a nivel cervical. La lesión fue el resultado de una caída desde una altura de 15 a 20 pies mientras participaba en un festival tradicional indio.

El paciente recalcó la presencia de dolor en la parte posterior de la región del cuello, debilidad en las extremidades superiores e inferiores, y pérdida sensorial por debajo del ombligo por lo que posteriormente sería operado por anterolistesis de C6 sobre C7 mediante discectomía cervical anterior con fijación de placa. El artículo es relevante para el análisis puesto a que muestra cómo la intervención temprana e intensiva en lesión medular cervical (con fisioterapia, estimulación eléctrica, ortesis y entrenamiento locomotor) permitió independencia parcial en la marcha y actividades diarias, gracias a la neuroplasticidad y la práctica repetitiva de tareas específicas.

2) Perfil Funcional

Aspecto	Post-Cirugía / Evaluación Inicial	Después de 3.5 Meses de Tratamiento
Estado general	Cuadripléjico, encamado, dependiente total en ADLs	Camina con AFOs y andador, realiza ADLs de forma independiente
Nivel neurológico	Sensorial T4, Motor C4, Neurológico C4	Mejoría significativa en control motor y sensorial
Circulatorio	Hipotensión postural severa	Presión arterial normal (120/80 mmHg)
Control de esfínteres	Sin control de vejiga ni intestino	Control completo de vejiga e intestino
Movilidad	Dependiente en transiciones y ADLs, encamado	Independiente en ADLs, deambula con asistencia
Sensaciones	Intactas C2–C6, disminuidas T4–T6, ausentes desde T7	Intactas en todo el cuerpo
Reflejos	Disminuidos, clonus en tobillos	Normales en MMSS, vivos en MMII
Tono muscular	MMSS hipotónicos, MMII con espasticidad y clonus	Tono normal en MMSS, reducción en MMII (Ashworth 2 → 1)
Escala ASIA – Motor	MMSS: 11/50MMII: 0/50	MMSS: 38/50MMII: 27/50
Escala ASIA – Sensorial	Tacto ligero: 26/56 Pinprick: 26/56	Tacto ligero: 55/56 Pinprick: 55/56

SCIM (Independencia funcional)	8/100	67/100
FSS (Fatiga)	55/63 (fatiga severa)	35/63 (fatiga reducida)
BDS (Depresión)	38/40 (depresión severa)	13/40 (mejoría significativa)
SCI-FAI	Sin deambulaci3n, dispositivos 2/14, distancia 1/5	Deambulaci3n 18/20, dispositivos 4/14, distancia 4/5
WISCI (Índice de Marcha)	Nivel 0 (no deambulaci3n)	Nivel 9 (deambulaci3n con ayuda)

Tabla 1: Perfil Funcional del caso 1

3) Mapa de actividades crÍticas

- Vida diaria:
 - i. Nivel de independencia: Inicialmente dependiente en todas las actividades de la vida diaria (AVD). Tras la rehabilitaci3n logr3 independencia parcial en vestirse, alimentarse e higiene, e independencia con ayudas tÉcnicas en movilidad y transporte (uso de andador y AFOs).
 - ii. Dificultades principales: Déficit de fuerza y tono en miembros inferiores, alteraciones sensoriales, riesgo de fatiga, dificultad en transferencias (cama-silla).
 - iii. Impacto en la calidad de vida: La recuperaci3n progresiva le permiti3 reincorporarse a actividades básicas, reduciendo la dependencia de cuidadores y mejorando su autoestima y autonomÍa.
- Laborales/educativas:
 - i. Nivel de independencia: Al inicio completamente dependiente; al final del proceso podÍa desplazarse con andador, realizar transferencias y participar en actividades educativas o comunitarias con apoyo.
 - ii. Dificultades principales: Limitaci3n en resistencia fÍsica, necesidad de ayudas tÉcnicas, movilidad reducida en entornos no adaptados.
 - iii. Impacto en la calidad de vida: Mejor3 la reintegraci3n social y la posibilidad de retomar estudios o actividades laborales, aumentando sus oportunidades de participaci3n comunitaria.
- Actividades terapÉuticas de prevenci3n/progresi3n:
 - i. Nivel de independencia: Requiere supervisi3n parcial en algunas actividades (ejercicios de marcha y balance), pero fue capaz de realizar rutinas domiciliarias con apoyo de un cuidador.
 - ii. Dificultades principales: Fatiga, espasticidad residual, necesidad de asistencia para mantener la tÉcnica en marcha y ejercicios especÍficos.
 - iii. Impacto en la calidad de vida: El programa intensivo (4 h/dÍa con terapeuta + 2 h/dÍa con cuidador) fue decisivo para recuperar funciones motoras y lograr independencia parcial en AVD.

4) Barreras y facilitadores

- FÍsicos: Limitado al inicio por cuadriplejÍa parcial, hipotensi3n y dependencia total; apoyado por la recuperaci3n progresiva con fisioterapia, control de esfÍnteres y uso de 3rtesis.

- Sociales: Limitado por la dependencia inicial y posible estigma; apoyado por su cuidador y su motivación personal.
- Culturales: Limitado porque la lesión ocurrió en un festival tradicional con riesgo; apoyado porque la vida comunitaria puede motivar su rehabilitación.
- Económicos: Limitado por los altos costos de cirugía, órtesis y terapias; apoyado porque tuvo acceso a tratamiento especializado y equipamiento.

5) Mapa de dolor

- Fatiga al realizar ejercicios de marcha prolongada.
- Dependencia inicial total en higiene, alimentación y movilidad.
- Frustración por la pérdida del control de esfínteres en etapa aguda.
- Dolor y rigidez durante ejercicios intensos de fisioterapia (ej. entrenamiento de marcha en paralelas).
- Dificultad en transferencias cama-silla y silla-vehículo al inicio.
- Sensación de inseguridad y miedo a caídas durante la deambulación con andador.

6) Expectativas de usuario

- Caminar de forma más estable y segura con menor apoyo (reducir dependencia de AFOs y andador).
- Mantener la fuerza y movilidad lograda tras la rehabilitación para no retroceder en su independencia.
- Recuperar actividades cotidianas como vestirse, comer y asearse sin ayuda.
- Lograr reincorporarse progresivamente a estudios o trabajo.
- Mejorar la resistencia para participar en actividades comunitarias y sociales.
- Evitar complicaciones secundarias (úlceras por presión, contracturas, fatiga severa).

Extraído de:

[1] P. Agni and A. Bhanushali, "Early Intervention as an Agent for Recovery of Function After Spinal Cord Injury- A Single Case Study," *Int. J. Neurol. Phys. Ther.*, vol. 4, no. 2, pp. 34–39, 2018, doi: 10.11648/j.ijnpt.20180402.12.

CASO 2: FISIOTERAPIA Y RECREACIÓN EN LESIÓN MEDULAR - ESTUDIO DE UN CASO

1. Caso de referencia:

Se describe el caso de un paciente masculino de 19 años que, tras un accidente automovilístico, presentó fractura de C7 y fracturas conminutas de T3–T5, con tetraplejía completa (AIS A) y lesiones asociadas. Fue sometido a cirugía cervical temprana y torácica diferida, evolucionando a tetraplejía incompleta (AIS B). Ingresó a un programa intensivo de rehabilitación, donde progresó a AIS C, logrando caminar distancias cortas entre barras paralelas con ortesis y asistencia. Persistieron espasticidad en miembros inferiores y dependencia de catéter urinario. El caso resalta cómo una lesión inicialmente completa puede evolucionar a incompleta, mejorando el pronóstico funcional, y destaca la relevancia de la cirugía temprana, la rehabilitación interdisciplinaria y el uso de escalas funcionales en la recuperación de pacientes jóvenes con lesión medular traumática.

2. Perfil funcional:

Aspecto	Post-Cirugía / Evaluación Inicial	Después de 3.5 Meses de Tratamiento
Estado general	Tetraplejía completa (AIS A luego B), encamado, dependiente total	Evolución a tetraplejía incompleta (AIS C), deambula distancias cortas entre barras paralelas con ortesis y ayuda
Nivel neurológico	Lesión en C7 (T3–T5). Paso de AIS A (completa) hasta AIS B	AIS C, recuperación motora parcial en miembros superiores e inferiores.
Circulatorio	Inestabilidad inicial, falla respiratoria	Hemodinámicamente estable tras rehabilitación.
Control de esfínteres	Cateterismo urinario permanente, intento de reeducación fallido.	Se mantiene cateterismo por espasticidad y discomfort.
Movilidad	Dependiente en todas las ADLs, WISCI 0 (sin deambulación)	WISCI 3: marcha corta entre barras paralelas con AFO y asistencia
Sensaciones	Inicialmente pérdida completa bajo lesión, evolución a incompleta	Recuperación sensorial parcial, AIS C
Reflejos	No descritos claramente al inicio.	Espasticidad importante en miembros inferiores.
Tono muscular	Ashworth 2 (espasticidad en MMII)	Ashworth 2 mantenido
Escala ASIA – Motor	Muy reducido (no valores exactos iniciales, solo AIS A/B)	Mejoría con función motora suficiente para bipedestación asistida

Escala ASIA – Sensorial	Muy reducida	Mejoría parcial (AIS C)
FIM (Independencia funcional)	34 puntos motores / 35 cognitivos	46 puntos motores / 35 cognitivos
QOL (calidad de vida)	61/112	67/112
FAC (Función de la marcha)	0 (no marcha)	Nivel 3 (entre barras paralelas)
WISCI (Índice de marcha)	Nivel 0	Nivel 3
Evolución global	Tetraplejía completa inicial, totalmente dependiente	Conversión a tetraplejía incompleta, recuperación parcial de movilidad y capacidad de marcha asistida

Tabla 1: Perfil funcional del caso 2

3. Mapa de actividades críticas:

Describir al menos 3 actividades de cada categoría:

- **Vida diaria:**
En cuanto a la vida diaria, se observa una mejoría progresiva en actividades como comer, vestirse y subir escaleras. Comer puede considerarse la actividad más independiente que realiza, mientras que vestirse y subir escaleras aún se ven afectadas por la espasticidad, lo que lo hace medianamente independiente y dependiente de algún soporte externo.
- **Laborales/educativas:**
Respecto a las actividades laborales o estudios, no existe un gran problema en lo cognitivo y se podría considerar independiente en ese aspecto. Sin embargo, su condición física no le permitiría una correcta integración a las actividades escolares/laborales. Además, la necesidad de asistir de manera frecuente a las sesiones de rehabilitación puede afectar su desempeño académico o laboral.
- **Rehabilitación:**
En rehabilitación, el paciente realiza fisioterapia en barras paralelas, movilización básica y reeducación esfinteriana. Todas estas actividades requieren ayuda parcial o total debido a la espasticidad y la debilidad muscular. Si bien le permiten progresar en su independencia funcional, la necesidad de soporte constante y el esfuerzo físico implicado limitan su autonomía y generan una fuerte dependencia del proceso terapéutico.
- **Actividades terapéuticas de prevención/progresión:**
En las actividades terapéuticas de prevención y progresión, el paciente requiere cambios posturales frecuentes para evitar úlceras, utiliza ortesis para la marcha y sigue un programa de medicación y suplementación. Estas acciones son necesarias para mantener su estabilidad clínica y prevenir complicaciones. Mientras que los

cambios posturales y el uso de ortesis refuerzan su dependencia de apoyo externo, la medicación podría llegar a manejarse de manera independiente si se lleva un control adecuado.

4. Barreras y facilitadores:

El paciente presenta como principales barreras físicas la espasticidad en miembros inferiores, la necesidad de cateterismo urinario permanente y la dependencia de ortesis y asistencia para la marcha, lo que limita su autonomía. A nivel social y económico, el proceso de rehabilitación ha requerido múltiples hospitalizaciones y un programa complejo que implica un alto grado de compromiso familiar y de recursos sanitarios especializados. Como facilitadores, destacan su edad joven, la favorable evolución neurológica de AIS B a AIS C, la disponibilidad de un equipo interdisciplinario de rehabilitación y el apoyo de la familia en el entrenamiento para actividades de la vida diaria, factores que han permitido avances funcionales y mejor calidad de vida

5. Mapa de dolor (Pain Points):

- Presenta marcha limitada, no puede caminar con la libertad que él desearía.
- La no respuesta de su cuerpo frente a acciones voluntarias que se exigen en las sesiones de rehabilitación debido a la espasticidad en miembros inferiores.
- Dependencia de las sesiones de rehabilitación, seguimiento médico y medicación.
- No tiene control de sus esfínteres, necesita el uso de cateterismo.
- Requiere apoyo para transferencias y cambios de posición (de la cama a la silla de ruedas, o para evitar úlceras por presión).

6. Expectativas del usuario (simuladas o tomadas de la literatura):

El paciente, joven de 19 años con tetraplejía incompleta postraumática, tiene como principal expectativa recuperar la capacidad de deambulación funcional, avanzando de la marcha asistida entre barras paralelas hacia trayectos más largos con menor apoyo. Asimismo, busca ganar independencia en las actividades básicas de la vida diaria, reducir la dependencia del cateterismo urinario y alcanzar un mayor control sobre su cuerpo para integrarse nuevamente a la vida social y académica. Estas expectativas coinciden con lo descrito en la literatura, donde los pacientes jóvenes con lesiones cervicales incompletas priorizan la recuperación de la movilidad, el control de esfínteres y la autonomía personal como metas centrales de su rehabilitación

Extraído de:

A. Dumitrascu *et al.*, “A complex case of neuro-muscular rehabilitation with favorable evolution, in a patient with incomplete tetraplegia post cervical and thoracic spinal cord injury - surgically treated, in a polytraumatic context, by car accident,” *BALNEO*, no. Vol.11, 4, pp. 524–526, Dec. 2020, doi: [10.12680/balneo.2020.393](https://doi.org/10.12680/balneo.2020.393).

CASO 3: ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA FUNCIONAL PARA LESIÓN MEDULAR INCOMPLETA

1) Caso referencia

Una mujer de 32 años sufrió una fractura por estallido de C7 con retropulsión tras una caída de un balcón del segundo piso, que requirió fijación cervical anterior de C6 a T1 antes de ser transferida a rehabilitación aguda. Presentó una lesión medular C8 AIS B, lo cual significa que conservaba parte de la función sensorial por debajo del nivel de la lesión, pero no conservó la función motora.

Este caso posee importancia clínica, ya que demuestra de qué manera la utilización temprana de la estimulación eléctrica funcional (EEF) en tratamientos integrales para lesiones medulares incompletas contribuye a mantener las fibras musculares, facilita la reeducación del sistema neuromuscular y, en consecuencia, posibilita observar mejoras inmediatas en la recuperación de la movilidad.

2) Perfil Funcional

Aspecto	Post-Cirugía / Evaluación Inicial	Después de 4 Meses de Tratamiento
Estado general	LME incompleta C8 AIS B, dependiente parcial, limitación a silla de ruedas	Capacidad de deambular con bastón estándar en la comunidad.
Nivel neurológico	Motor: ausente bajo C8 Sensorial: preservado bajo el nivel de lesión	Mejoría sensorial y motora
Circulatorio	Sin datos específicos	Sin cambios relevantes
Control de esfínteres	No descrito	No descrito
Movilidad	Depende de supervisión para deambular con andador de ruedas, uso de silla de ruedas manual	Deambula distancias comunitarias con bastón estándar
Sensaciones	Sensibilidad intacta por debajo del nivel de la lesión, pero sin función motora	Mejora funcional con retroalimentación sensorial activa
Reflejos	Clonus en tobillo bilateral	No reportados tras tratamiento
Respuesta a EEF	Estimulación sensorial inicial sin tetania visible	Contracciones efectivas tras ajuste de intensidad progresivo
Relevancia clínica	EEF: reclutamiento motor y soporte en reaprendizaje neuromuscular	Impacto de EEF en el retorno funcional a la marcha

Tabla 3: Perfil Funcional del caso 3

3) Mapa de actividades críticas

- **Vida diaria:**

- i. **Nivel de independencia:** Al recibir el alta de la rehabilitación en el hospital, podía caminar distancias dentro de su casa con ayuda, empleando un andador con ruedas y necesitaba una silla de ruedas manual para moverse en el entorno comunitario. Cuatro meses tras el alta, se desplazaba en la comunidad usando un bastón convencional.

- ii. **Dificultades principales:** Falta de movimiento por debajo de C8 y presencia de clonus en ambos tobillos, lo que redujo su independencia y provocó necesidad de asistencia parcial. La fatiga y una herida en la rodilla izquierda complicaron su proceso de recuperación.

- iii. **Impacto en la calidad de vida:** La mejora hacia una marcha funcional, al pasar de una silla de ruedas a un bastón, le otorgó autonomía en su vida diaria, familiar y social. También logró recuperar su confianza e independencia.

- **Laborales/educativas:**

- i. **Nivel de independencia:** Pudo continuar trabajando durante la rehabilitación.

- ii. **Dificultades principales:** No descritas en el artículo.

- iii. **Impacto en la calidad de vida:** No descrito en el artículo.

- **Actividades terapéuticas de prevención/progresión:**

- i. **Nivel de independencia:** Participó en un programa intensivo de rehabilitación física con electroestimulación funcional entre 3 y 5 veces a la semana. Al principio, solo se utilizó la estimulación sensorial, pero también se incorporó el entrenamiento locomotor con soporte de peso corporal, ejercicios de core con EEF en el transversal del abdomen y oblicuos. Asimismo, se utilizaron ortesis para proporcionar estabilidad.

- ii. **Dificultades principales:** Variabilidad en la tolerancia debido a la fatiga, falta de períodos de calentamiento y enfriamiento, dolor ocasionado por una lesión en la rodilla izquierda y debilidad en los músculos del core y glúteos que impacta la estabilidad de la pelvis.

- iii. **Impacto en la calidad de vida:** La introducción temprana de EEF y un enfoque terapéutico integral aumentó las posibilidades de recuperar la capacidad de caminar.

4) Barreras y facilitadores

- i. **Clínico-funcionales:** Al inicio, la recuperación estuvo marcada por limitaciones importantes: la paciente no presentaba función motora voluntaria, lo que hacía que cualquier avance dependiera del estímulo externo. A esto se sumaban la fatiga constante, el malestar que provocaba la estimulación eléctrica —sobre todo en la pierna con herida— y los problemas de control postural que complicaba aún más la marcha. Sin embargo, también existían factores clínicos que jugaron a favor. El hecho de conservar sensibilidad y tono rectal fue determinante para poder iniciar el tratamiento, y con el paso de las sesiones comenzó a responder al FES, primero con contracciones aisladas y luego con movimientos más coordinados, hasta llegar a soportar su propio peso.

- ii. **Logístico-terapéuticos:** Las dificultades no fueron solo físicas. La rutina de rehabilitación también se veía afectada por retrasos, interrupciones para atender heridas y, en general, por sesiones que no siempre podían completarse como estaba previsto. Otro punto débil fue la falta de protocolos claros o métricas objetivas que ayudaran a medir los avances semana a

semana. Frente a esto, el equipo terapéutico supo adaptarse: modificó la intensidad de la estimulación, incorporó entrenamientos en cinta con soporte de peso y añadió órtesis y ejercicios de fortalecimiento del core. Gracias a estos ajustes, se logró mantener la continuidad del tratamiento y darle un rumbo más efectivo.

iii. Autonomía y soporte: Quizá la mayor barrera al inicio fue la dependencia. Necesitaba asistencia incluso para mantenerse sentada y recurre constantemente a ayudas técnicas como andador, órtesis y silla de ruedas. No obstante, esta situación fue cambiando con el tiempo. La motivación personal de la paciente, su buena condición física previa y el hecho de seguir trabajando durante la rehabilitación hicieron que se mantuviera activa y comprometida. El apoyo interdisciplinario también fue clave: la combinación de fisioterapia, FES y entrenamiento funcional le permitió ganar fuerza y confianza, hasta reducir progresivamente la dependencia de los dispositivos. En apenas cuatro meses, pasó de necesitar un andador a desplazarse con un bastón, un logro que marcó un punto de inflexión en su recuperación y en su camino hacia la autonomía.

5) Mapa de dolor:

La experiencia de la paciente no estuvo exenta de frustraciones. Al principio, la fuerte dependencia de dispositivos y de la supervisión constante generaba un sentimiento de pérdida de autonomía. La incomodidad de la estimulación eléctrica, sobre todo en las primeras sesiones, hacía que algunas prácticas fueran difíciles de tolerar y que se redujera el tiempo útil de tratamiento. También resultaba desmotivador no contar con medidas objetivas que mostraran con claridad cuánto estaba progresando, lo que podía dar la impresión de que los avances eran más lentos de lo que realmente eran. A ello se sumaba la exigencia emocional de sostener un proceso de recuperación prolongado y demandante, donde cada pequeño logro requería paciencia y constancia.

6) Expectativas del usuario (simuladas o tomadas de la literatura):

Desde el inicio, la expectativa principal de la paciente fue volver a caminar. Con el paso del tiempo, esa meta se amplió hacia objetivos más integrales: ganar fuerza, mejorar el equilibrio y recuperar el control postural para moverse con mayor seguridad. También esperaba dejar atrás, en la medida de lo posible, la silla de ruedas y otros dispositivos de apoyo, con la ilusión de retomar sus actividades laborales y mantener su independencia en la vida diaria. Más allá de lo físico, lo que buscaba era recuperar calidad de vida, volver a sentirse activa, autónoma y con la capacidad de desenvolverse en su entorno como antes del accidente.

C. Fazio, "Functional electrical stimulation for incomplete spinal cord injury," *Proc. (Bayl. Univ. Med. Cent.)*, vol. 27, no. 4, pp. 353–355, Oct. 2014, doi: 10.1080/08998280.2014.11929157